



**UNIVERSIDADE DO MINHO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E RECURSOS DO MAR**

CURSO DE LICENCIATURA em ENGENHARIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

RELATÓRIO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANO LETIVO 2016/2017 – 4º ANO

Tema: Projeção de um Biodigestor para degradação de resíduos animais e produção de Biogás e Biofertilizante, adaptado para zonas rurais.

Autora: Andreia Simonica Gomes Ramos, Nº 3076

Orientadora: Mestre Susana Castro

Coordenação: João Dias, Ph.D

Mindelo, 2017

Andreia Simonica Gomes Ramos

**PROJEÇÃO DE UM BIODIGESTOR PARA DEGRADAÇÃO DE
RESÍDUOS ANIMAIS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS E
BIOFERTILIZANTE, ADAPTADO PARA ZONAS RURAIS.**

Relatório apresentado à Universidade do
Mindelo como parte integrante do Projeto
final do curso de Licenciatura em Engenharia
em Energias Renováveis.

Orientadora: Susana Castro

Mindelo, 2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que de uma forma ou de outra me apoiaram durante todos esses anos de formação, a minha família que foram sempre o maior apoio, principalmente meu querido pai que infelizmente não está mais comigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força para continuar a lutar pelos meus objetivos e sempre manter o foco apesar dos momentos difíceis enfrentados.

Agradeço a minha mãe e meu pai pela dedicação, o esforço, os conselhos e sempre estarem lá por mim a apoiar e motivar e em especial por acreditarem em mim.

Aos meus irmãos que me deram apoio desde sempre e que de várias formas contribuíram para que eu pudesse concluir esta etapa.

Ao meu namorado pela motivação e apoio ao longo do curso e principalmente na realização desse trabalho.

Não podia deixar de agradecer a professora Susana Castro pela orientação, as ideias e a sua disponibilidade para esclarecer diversas dúvidas para que o projeto progredisse.

Ao monitor do laboratório de engenharia pela disposição do seu tempo;

Aos meus professores ao longo do curso, em especial aqueles cujas disciplinas tiveram ligação com o projeto.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste projeto.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado. A imaginação circunda o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO

A utilização de fontes renováveis de energia como alternativa aos combustíveis fósseis é um fator crucial para aumentar a sustentabilidade ambiental (diminuindo a poluição e as mudanças climáticas), reduzir a importação e dependência de combustíveis fósseis e ajudar na economia local.

Neste contexto os biodigestores têm ganhado alguma notoriedade devido às suas vantagens ambientais e energéticas, sendo que permite utilizar como matérias-primas resíduos que de outra forma seriam enviados para a natureza e que desta forma podem ser convertidos em energia, nomeadamente biogás.

Deve-se consciencializar as pessoas do uso racional de energia e introduzi-las desde cedo aos conceitos, benefícios e possibilidades das formas alternativas de produção de energia apresentados pelas energias renováveis. Deste modo o ensino da construção de biodigestores desde as escolas tanto no meio rural como urbano pode contribuir para fomentar a formação de uma visão mais ampla e crítica sobre este assunto.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar a facilidade de construção e operação de um biodigestor caseiro destinado à produção de biogás e biofertilizante e demonstrar os diversos benefícios tanto a nível ambiental, económico, energético e também a nível da saúde pública que este dispositivo apresenta.

Com este modelo caseiro é possível acompanhar diariamente a produção de biogás no final do processo e observar o biofertilizante formado.

Este dispositivo permite produzir biogás e biofertilizante a partir de qualquer fonte de resíduo orgânico disponível desde que seja feita uma inoculação das bactérias necessárias para a degradação anaeróbia (na ausência do oxigénio).

Palavras-chaves: *Biodigestor caseiro, digestão anaeróbia, biogás, biofertilizante.*

ABSTRACT

The use of renewable energy sources as an alternative to fossil fuels is a crucial factor in increasing environmental sustainability (reducing pollution and climate change), reducing the importation and dependence on fossil fuels, and helping the local economy.

In this context the digester has been receiving great attention because it is seen as an added value to environment and energy, and offers the waste that would be dumped in nature an excellent end through the transformation into renewable energy, namely biogas.

People should be made aware of the rational use of energy and should be introduced early on to the concepts, benefits and possibilities of the alternative forms of energy produced by renewable energies. In this way, the teaching of the construction of digesters from the schools both in rural and urban areas can contribute to fomenting and forming a broader and more critical view on this subject.

The present work aims to show the ease of construction and operation of a homemade digester for the production of biogas and bio fertilizer and demonstrate the various environmental, economic, energy and public health benefits of this device.

With this homemade model, it is possible to monitor daily the biogas production at the end of the process and observe the bio fertilizer be formed.

This device enables biogas and bio fertilizer to be produced from any available source of waste provided since the bacteria necessary for the anaerobic degradation (in the absence of oxygen) are inoculated.

Keywords: *Homemade digester, anaerobic degradation, biogas, bio fertilizer*

ÍNDICE

I.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos.....	16
1.3	Metodologia.....	17
1.4	Estrutura do trabalho	18
II.	ESTADO DA ARTE	19
2.1	– Biogás	19
2.1.1	– Definição	19
2.1.2	– Origem do biogás	19
2.1.3	– Composição química do biogás.....	20
2.1.4	– Matéria-prima para a produção do biogás	21
2.1.5	– Pré-tratamentos efetuados à biomassa.....	22
2.1.6	– Poder calorífico do biogás	25
2.1.7	– Expectativa de produção de biogás por biomassa	26
2.1.8	– Benefícios da produção de biogás	29
2.2	– Decomposição Anaeróbia.....	33
2.2.1	– Definição	33
2.2.2	– O processo da decomposição anaeróbia	34
2.2.3	– Fatores que influenciam o processo para uma ótima fermentação	35
2.3	– Biodigestor	36
2.3.1	– Definição	36
2.3.2	– História dos biodigestores	37
2.3.3	– Parâmetros operacionais	39
2.3.4	– Tipos de biodigestores	40
2.3.5	– Medidas de segurança num biodigestor.....	46
2.3.6	– Tipo de alimentação do biodigestor.....	46
2.3.7	– Custos de construção dos biodigestores	48
2.4	– Purificação do Biogás.....	50
2.5	– Utilização de biogás	54
2.6	– Biofertilizante	58

2.6.1 – Efeitos da aplicação de biofertilizante no solo	60
2.6.2 – Diferenças entre biofertilizantes e fertilizantes químicos.....	60
III. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	61
3.1 - Materiais.....	61
3.2 – Métodos	62
3.2.1 - Dimensionando do biodigestor	62
3.2.2 - Construção do biodigestor.....	63
IV. CASO DE ESTUDO	68
4.1 – Caracterização da área de implementação – Madeiral, Calhau	68
4.2 – Levantamento de dados	69
V. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
5.1 – Resultados do protótipo e da produção de biogás.	70
5.2 – Resultados dos questionários aplicados no caso de estudo.	75
VI. CONCLUSÃO.....	87
6.1 - Sugestões de trabalhos futuros	88
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

Índice de figuras

Figura 1 - <i>Benefícios do biodigestor</i>	29
Figura 2 - <i>Esquema de um biodigestor indiano</i>	41
Figura 3 - <i>Biodigestor indiano</i>	42
Figura 4 - <i>Esquema de um biodigestor chinês</i>	43
Figura 5 - <i>Biodigestor chinês</i>	43
Figura 6 - <i>Esquema de um biodigestor canadiano</i>	44
Figura 7- <i>Biodigestor canadiano</i>	44
Figura 8 - <i>Formas de utilização do biogás</i>	54
Figura 9 - <i>Desenho dos componentes do biodigestor</i>	65
Figura 10 - <i>Biodigestor em construção</i>	66
Figura 11 - <i>Biodigestor construído</i>	67
Figura 12 - <i>Reação química da combustão do butano</i>	70
Figura 13 - <i>Reação química da combustão do metano</i>	70
Figura 14 - <i>Bomba de ar usada para extrair o biogás</i>	72
Figura 15 - <i>Demonstração da queima do biogás formado</i>	73

Índice de gráficos

Gráfico 1 - <i>Divisão da faixa etária dentro da amostra</i>	76
Gráfico 2 - <i>Divisão da faixa etária</i>	76
Gráfico 3 - <i>As principais profissões na comunidade</i>	77
Gráfico 4: <i>Conhecimento das energias Renováveis</i>	78
Gráfico 5: <i>As energias Renováveis mais conhecidos pela amostra</i>	78
Gráfico 6 - <i>Conhecimento do conceito biogás</i>	79
Gráfico 7 - <i>Conhecimento do conceito biodigestor</i>	80
Gráfico 8 – <i>Formas de formação de biogás</i>	80
Gráfico 9 - <i>Criação de animais</i>	81
Gráfico 10 - <i>Os incómodos provocados pelos dejetos de animais.</i>	82
Gráfico 11 - <i>Formas de utilizar os dejetos.</i>	82
Gráfico 12 - <i>Disponibilidade para aprender a produzir biogás</i>	83
Gráfico 13 - <i>Utilização mensal de gás butano</i>	84
Gráfico 14 - <i>Avaliação do preço do gás butano</i>	84
Gráfico 15 - <i>Forma de utilizar o biogás</i>	85
Gráfico 16 - <i>Disponibilidade para o uso do biogás.</i>	85

Índice de tabelas

Tabela 1 – <i>Composição química do biogás</i>	21
Tabela 2 - <i>Expectativa de produção de biogás por biomassa</i>	27
Tabela 3 – <i>Relação entre a quantidade de biomassa e o volume de biogás produzido</i>	28
Tabela 4 - <i>Comparação entre os três modelos de biodigestores</i>	45
Tabela 5 - <i>Custo de construção e implementação dos três modelos de biodigestores</i>	49
Tabela 6 – <i>Materiais para construção do biodigestor</i>	61

LISTA DE ABREVIATURAS

AAC – Associação Amigos do Calhau

CHP – Geração combinada de calor e energia

CH₄ – Metano

COV – Carga Orgânica Volumétrica

C/N – Relação entre Carbono e Azoto

CO₂ – Dióxido de Carbono

Fe - Ferro

FeOH – Óxido de ferro

FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, entidade alemã

GEE – Gases de Efeito de Estufa

H₂ – Hidrogénio

O₂ – Oxigénio

PCS – Poder Calorífico Superior

PSI – Poder Calorífico Inferior

N₂O – Óxido de Azoto

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica

VB – Volume do Biodigestor

I. INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata-se do projeto de conclusão do curso de Licenciatura em Engenharia em Energias Renováveis, lecionado na Universidade do Mindelo.

A crescente procura energética nas últimas décadas tem incentivado o desenvolvimento de projetos e novas tecnologias para o máximo aproveitamento das fontes de energia, principalmente as fontes renováveis e abundantes, nomeadamente no nosso país.

Por esse motivo têm sido adotadas políticas para o aproveitamento das energias renováveis e deixando os combustíveis fósseis e nocivos ao ambiente como segundo plano.

Através de estudos e desenvolvimentos tecnológicos foi possível desenvolver novas formas de aproveitar as fontes renováveis, como é o caso do biogás, de forma mais eficiente e com menos riscos ao meio ambiente.

Sendo que essas fontes de energias têm chamado a atenção do mundo inteiro há necessidade de estabelecer níveis de qualidade exigidos e uma legislação apropriada para que se possa ter um maior aproveitamento e desempenho.

Tendo todos esses aspetos em conta, este projeto tem como principal objetivo mostrar uma dessas formas de aproveitar essas fontes renováveis, nesse caso a biomassa, de forma útil, eficiente e segura sob a temática de **“Projeção de um biodigestor para degradação de resíduos animais e produção de biogás e biofertilizante, adaptado para zonas rurais”**. Isto será feito através do aproveitamento dos resíduos agropecuários, utilizando um biodigestor para a produção de biogás e biofertilizante. Permitindo assim às pessoas das zonas rurais, a obtenção de energia para cozinhar sem ter de fazer longas deslocações.

1.1 Justificativa

O uso das energias renováveis tem vindo a ganhar extrema importância e destaque nas últimas décadas em todo o mundo. O investimento nos biocombustíveis, nomeadamente no biogás tem como objetivo a redução da emissão dos gases de efeito de estufa, redução do uso de combustíveis fósseis, a racionalização energética e ainda o desenvolvimento económico.

A escolha do tema advém de uma reflexão sobre o quotidiano dos habitantes de zonas rurais do nosso país, que para obter energia para cozinhar, como o butano, precisam de fazer longas deslocações.

Outro fator determinante na escolha do tema relaciona-se com a gestão dos resíduos, uma vez que este setor tem proporcionado vários problemas ambientais e que poderão ser resolvidos através da sua conversão bioquímica e, biodigestores.

A construção de um biodigestor para conversão bioquímica de resíduos agropecuários permite a obtenção de biogás, sendo que este processo pode ocorrer a poucos metros de casa e também participar na resolução sustentável desses resíduos a fim de evitar problemas ambientais e saúde pública.

O presente projeto surge também da reflexão sobre a importância que podia trazer para a Universidade sendo que o protótipo servirá para demonstrar às turmas de Engenharia em Energias Renováveis o processo de degradação anaeróbia de resíduos e produção de biogás e biofertilizante.

1.2 Objetivos

Objetivo geral:

- Construir um protótipo de biodigestor que demonstre o processo de obtenção de biogás e biofertilizante através de resíduos orgânicos (dejetos de animais pecuários).

Objetivos específicos:

- Produzir um gás com propriedades menos nocivas para o ambiente do que o gás butano e a um menor custo;
- Descrever o processo de degradação anaeróbia da matéria orgânica, mais precisamente os dejetos de animais;
- Realçar a possibilidade de um tratamento sustentável aos dejetos animais com várias vantagens para a saúde pública e a qualidade de vida;
- Valorizar e atestar a fiabilidade dos materiais utilizados;
- Atestar o bom funcionamento do dispositivo;
- Demonstrar a exequibilidade de construção e manuseamento de um biodigestor;
- Projetar e dimensionar o protótipo de biodigestor para demonstrar a produção de biogás.

1.3 Metodologia

No presente trabalho adotou-se o método de pesquisa bibliográfica, onde através da análise documental de livros e artigos científicos se pretende recolher informação necessária para descrever o processo de produção de biogás e biofertilizante e desenvolver o projeto.

Depois de muitas pesquisas optou-se por fazer um biodigestor utilizando materiais reutilizáveis e a uma pequena escala apenas para demonstração da fermentação anaeróbia/produção do biogás e biofertilizante como também a queima do biogás produzido. Sendo um biodigestor de pequena escala possui um tempo de retenção baixo.

Através da pesquisa foi possível selecionar a matéria-prima mais adequada para o presente projeto e saber os requisitos necessários para a sua degradação.

Em seguida, foi desenvolvida a fase do dimensionamento e modelação do protótipo a partir dos cálculos necessários para determinar as dimensões adequadas do biodigestor e o tempo para decorrer o processo, tendo em conta a matéria-prima escolhida.

Depois do dimensionamento segue a fase que engloba a elaboração da lista de materiais necessários, seus preços e suas respetivas funções ao serem implementadas no protótipo e por fim, pretende-se ainda fazer a descrição passo-a-passo da sua construção e os testes elaborados para verificar a fiabilidade dos materiais utilizados bem como o funcionamento do dispositivo.

Ainda para a elaboração do trabalho foi realizado um caso de estudo na localidade de Calhau com o objetivo de demonstrar a aplicação prática do protótipo onde se procedeu á recolha de informação através de um questionário destinado a averiguar a existência de problemas energéticos como problemas de carater sanitário acerca dos dejetos dos animais.

Para a implementação do caso de estudo é de extrema importância a caracterização geográfica de área escolhida de modo a conhecer as suas caraterísticas.

Depois da recolha de informação foi utilizada a ferramenta do Microsoft Office, o Excel para fazer a análise detalhada das informações recolhidas e tratamento de dados.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é composto por cinco capítulos. O primeiro capítulo engloba a introdução, os objetivos gerais e específicos, a justificativa e ainda a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo contém a parte de fundamentação teórica onde é feita uma abordagem sobre a origem e composição do biogás, o seu poder calorífico, as matérias-primas e o seu processo de formação juntamente com os fatores que influenciam na produção, bem como o biodigestor, os aspectos da sua construção e operação, as medidas de segurança necessárias para uma boa operação do aparelho e os diferentes tipos que existem. Refere-se ainda do biofertilizante resultante deste processo e os seus benefícios da sua aplicação no solo.

No terceiro capítulo são descritos os cálculos para a modelação e dimensionamento do biodigestor, é feita uma descrição dos materiais para a construção e as suas respectivas funções. Refere-se o desenvolvimento do protótipo mostrando passo a passo a utilização dos materiais na sua construção e ilustrando o seu funcionamento.

O quarto capítulo apresenta um caso de estudo na localidade de Calhau, onde se apresenta uma caracterização da localidade e uma pesquisa de campo a partir de questionários aplicados aos residentes. O tratamento dos dados será feito através do Excel do Microsoft Office e os seus resultados serão apresentados através de gráficos e tabelas, com objetivo de saber até que ponto conhecem o biogás e biodigestor e se há um nicho de oportunidade para se desenvolver um projeto futuro.

O capítulo cinco faz uma abordagem dos resultados obtidos no fim da construção do protótipo, atestando a sua viabilidade e o bom funcionamento, apresenta também os resultados dos questionários aplicados, através de gráficos mostrando o nível de conhecimento dos residentes em relação as energias renováveis, principalmente o biogás.

Por último, o capítulo seis corresponde à conclusão do projeto realizado e algumas considerações sobre possíveis trabalhos a serem desenvolvidos no futuro.

II. ESTADO DA ARTE

2.1 – Biogás

2.1.1 – Definição

O biogás, de acordo com ZANETTE (2009), é uma mistura gasosa produzida a partir da decomposição anaeróbica de materiais orgânicos, composta primariamente por metano e dióxido de carbono, com pequenas quantidades de sulfeto de hidrogénio e amoníaco. São ainda encontrados vestígios de hidrogénio, azoto, monóxido de carbono, hidratos de carbono saturados ou halogenados e oxigénio estão ocasionalmente presentes no biogás.

2.1.2 – Origem do biogás

Segundo *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.* (2010) “o biogás tem origem em um processo biológico em que matéria orgânica, quando decomposta em meio anaeróbio (ausência de oxigênio), origina uma mistura gasosa chamada de biogás. Esse processo é muito comum na natureza e ocorre por meio de diversos microrganismos que convertem a matéria orgânica em biogás quase por completo”.

Segundo CLASSEN *et al* (1999, *apud* COSTA, 2006, pág. 36) o biogás, ou “gás dos pântanos” foi descoberto por Shirley em 1667. No entanto foi só um século mais tarde que Alessandro Volta reconheceu a presença de metano no gás dos pântanos.

De acordo com COSTA (2006) a ideia de aproveitar o gás metano produzido pela digestão anaeróbia já era conhecido na Índia. Remonta ao ano de 1859, quando se realizou a primeira experiência de utilização direta deste gás numa colónia de leprosos, em Bombaim. E depois de trinta anos da realização dessa experiência, em 1895 teve lugar a primeira na Europa, onde utilizaram o biogás para a iluminação de algumas ruas na cidade de Exter na Inglaterra. Logo se seguiram várias outras motivadas principalmente pelo entusiasmo criado devido a este processo.

Sendo por isso a Índia e a China os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão de forma mais intensa, com finalidades energéticas nas décadas de 50 e 60, do século passado e foram os pioneiros a desenvolver os seus próprios modelos de biodigestores.

Já no século XIX, Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35°C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria.

Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar à Academia de Ciências os trabalhos do seu aluno, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

2.1.3 – Composição química do biogás

PRATI (2010) afirma que o biogás é composto por uma mistura de gases, cujo tipo e percentagem variam de acordo com as características dos resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão. Os principais constituintes do biogás são o metano e o dióxido de carbono, no qual biogás é composto em média de 65% de metano, sendo o restante basicamente de dióxido de carbono. Outros gases, como sulfeto de hidrogénio, o azoto, hidrogénio e monóxido de carbono também compõe o biogás em menores concentrações.

Segundo SILVA (2016) a composição do biogás não é constante, porque depende de uma série de fatores como a composição química, características físicas do resíduo, do tipo e forma de operação dos biodigestores, da presença de nutrientes e substâncias tóxicas aos microrganismos.

O biogás é composto por:

Componentes	Teor de volume	Fórmula química
Metano	55 – 75	CH ₄
Dióxido de carbono	25 – 45	CO ₂
Azoto	0 – 3	N ₂
Hidrogénio	0 -2	H ₂
Oxigénio	0 – 0.1	O ₂
Sulfeto de hidrogénio	0 – 1	H ₂ S

Tabela 1 – Composição química do biogás (13 de Setembro 2017, 13:32 Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/biogas-energia-por-meio-lixo.htm>).

2.1.4 – Matéria-prima para a produção do biogás

“Uma vasta gama de tipos de biomassa pode ser usada como substratos (matéria-prima) para a produção de biogás” (Al Seadi *et al*, 2008).

- Estrume e chorume de animais;
- Dejetos de suinocultura, pecuária e avicultura;
- Resíduos e subprodutos agrícolas, como cascas, folhagens, palhas e restos de cultura;
- Resíduos orgânicos digestíveis de alimentos e agroindústrias (de origem vegetal e animal) como bagaços, descartes, restos de restaurantes;
- Fração orgânica de resíduos urbanos e de restauração (de origem vegetal e animal);
- Lodo de esgoto.

2.1.5 – Pré-tratamentos efetuados à biomassa

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2010) afirma que uma preparação adequada permite influenciar positivamente o processo fermentativo, o que possibilita explorar ao máximo o potencial energético dos substratos utilizados, apontado como principais os seguintes:

Remoção de materiais estranhos

Os materiais estranhos mais comuns são as pedras, que geralmente são removidas com frequência do fundo do tanque de carga. Podem também utilizar separadores de materiais pesados, ligados diretamente ao condutor da biomassa. Outros materiais estranhos são removidos manualmente quando o substrato é entregue ou mesmo durante o enchimento do reservatório de alimentação. Outra das principais fontes de materiais estranhos são os resíduos orgânicos que quando utilizados como substrato, devem observar se estes estão livres de materiais estranhos.

A maioria das empresas agrícolas não dispõe dos recursos necessários para a separação por meio de câmaras ou vias mecânicas de preparação, que são utilizadas nas centrais de produção de gás a partir de resíduos orgânicos.

Fragmentação

A fragmentação do substrato tem por objetivo tornar a sua superfície acessível ao processo de biodegradação e, portanto, facilitar a produção de metano. Embora a taxa da biodegradação aumente com substratos mais fragmentados, o rendimento de gás não é necessariamente maior. Para além de outros fatores, a geração de metano depende da interação entre o grau de fragmentação e o tempo de permanência do substrato no biodigestor. Por isso é importante adotar a tecnologia correta. O equipamento utilizado na fragmentação do substrato sólido pode ser instalado externamente, antes do ponto de carregamento no tanque de carga, na canalização ou biodigestor.

Os principais equipamentos incluem picadores, moinhos, esmagadores, bem como eixos e transportadores helicoidais com dispositivos de corte e dilaceramento. Em muitos casos utilizam-se eixos com palhetas e roscas de transporte com facas em unidades combinadas de alimentação. Por causa da sua ampla gama de aplicações, as propriedades das unidades de fragmentação são resumidas para equipamentos para dosagem direta de sólidos em combinação com unidades de alimentação e dosagem e para moinhos e picadores.

A fragmentação pode ser realizada, por exemplo, por agitadores de fragmentação separados no reservatório localizada antes do biodigestor, embora seja comum o acoplamento direto entre o triturador e a tubulação de transporte desse substrato, ou mesmo a combinação em um único equipamento.

Mistura e homogeneização

Na digestão húmida, a mistura do substrato permite aumentar o seu teor de humidade, tornando-o bombeável e possibilitando o seu transporte até o biodigestor. Ela se dá, normalmente, no reservatório de carga ou outro reservatório, situado antes do carregamento do substrato no processo de fermentação. A mistura é realizada com esterco líquido, biofertilizantes, águas residuais ou em casos excepcionais com água fresca, conforme a disponibilidade desses recursos.

O uso de biofertilizantes líquidos pode reduzir o consumo de água fresca e oferece a vantagem de já inocular o substrato com bactérias necessárias ao processo de digestão antes de sua chegada ao biodigestor. Assim, esse procedimento é muito indicado. Se possível, evitar o uso de água fresca em função do custo elevado.

A homogeneidade do substrato introduzido é de extrema importância para manter processo fermentativo estável. A variação da carga e a troca da sua composição do substrato exigem que os microrganismos se adaptem às diferentes condições, o que se reflete negativamente no rendimento de biogás.

Os substratos bombeáveis são homogeneizados por meio de agitadores no tanque de carga. A homogeneização também pode ocorrer no biodigestor se forem realizados o

bombeamento direto de substratos diferentes, no caso de líquidos, ou a introdução direta, no caso de sólidos.

Decomposição preliminar aeróbica

Na digestão seca, é possível arear o substrato primeiramente, antes do início do processo fermentativo propriamente dito. Os processos de composição ativados pela adição de ar são acompanhados do aquecimento do substrato para 40 a 50 °C.

Com duração de dois a quatro dias, a decomposição preliminar tem a vantagem de iniciar a quebra celular e permitir o aquecimento do material, poupando o biodigestor da necessidade de ter componentes adicionais de aquecimento. Sua desvantagem, no entanto, é que a matéria orgânica já decomposta não está mais disponível para a produção de biogás.

Hidrólise

A eficiência no uso do substrato decresce com o aumento da carga orgânica volumétrica e dos tempos de retenção curtos. Em casos extremos, pode ocorrer acidificação e colapso do biodigestor. Para contornar esse problema, os processos de hidrólise e de acidificação podem ser realizados antes de atingir o biodigestor, em tanques separados, ou pode-se ter um espaço isolado no interior do biodigestor por meio de estruturas especiais (por exemplo em biodigestores bifásicos).

A hidrólise pode ocorrer sob condições aeróbias e anaeróbias e com valores de pH entre 4,5 e 7. Temperaturas de 25 a 35 °C, geralmente suficientes, podem ser elevadas para 55 a 65 °C a fim de proporcionar maior taxa de degradação. Como local de armazenagem, podem ser usados diferentes reservatórios de alimentação (verticais, horizontais) com seus respectivos equipamentos, tais como agitador, equipamentos de aquecimento e isolamento.

Deve-se observar que o gás de hidrólise contém grande parte de hidrogénio. No sistema anaeróbio, a emissão dos gases de hidrólise na atmosfera pode significar perdas energéticas com relação ao volume de biogás gerado. Além do mais, isso representa um problema de segurança, uma vez que a mistura de hidrogénio com ar pode formar uma atmosfera explosiva.

Desintegração

A desintegração é a destruição da estrutura da parede celular e liberação de todo o conteúdo celular, o que aumenta a disponibilidade do substrato para os microrganismos, elevando assim, a taxa de decomposição.

Para isso, são utilizados processos térmicos, químicos, bioquímicos e físicos/mecânicos para facilitar a quebra celular. Processos possíveis são a elevação da temperatura até $<100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sob condições normais de pressão ou $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ em ambiente pressurizado, a hidrólise anteriormente referida, a adição de enzimas, ou, na categoria de métodos mecânicos, a aplicação de desintegração ultrassônica.

Os especialistas questionam a eficiência desses processos. Por um lado, a eficácia de cada um dos processos depende, em grande parte, do substrato e da forma como foi preparado. Por outro lado, todos os processos exigem energia adicional, seja ela elétrica ou térmica, o que contradiz diretamente ao possível ganho de eficiência. Antes de integrar processos desse tipo, deve-se realizar testes e analisar previamente o substrato tratado, a fim de se estipular o ganho efetivo dessa etapa de desintegração, analisando tal avaliação do ponto de vista econômico e considerando os ganhos e perdas financeiros.

2.1.6 – Poder calorífico do biogás

De acordo com COSTA (2006) uma das características mais importante de um gás e que apresenta a quantidade de energia liberada na combustão completa de uma unidade de massa ou volume no caso de gases é denominada de poder calorífico, também conhecido como poder de queima, calor de combustão ou potência calorífica. O biogás tem seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura.

Conforme RIBEIRO, W. X, (1993, *apud* OLIVEIRA, 2009, pág. 12), o poder calorífico pode ser medido a volume constante ou a pressão constante. Para efetuar a medida no primeiro caso é utilizada uma bomba calorimétrica, já para o segundo caso utiliza-se um calorímetro de gás.

COSTA (2006) afirma que quando se determina a composição de um combustível, verifica-se que o mesmo é geralmente composto por carbono, hidrogénio e oxigénio. Quando há a combustão do mesmo, há a formação de água como produto dessa reação devido à presença de hidrogénio, essa água pode estar no estado líquido, gasoso ou ainda em ambos. Caso a água formada na combustão se condense é obtido o poder calorífico do combustível superior (PCS), mas se a água estiver no estado gasoso é obtido o poder calorífico inferior (PCI), em consequência disso o biogás também terá ambos os poderes caloríficos.

De acordo com a concentração de metano no biogás o poder calorífico pode variar entre 4,95 a 7,92 kWh/m³ para o poder calorífico inferior e superior, respetivamente, após o devido tratamento o biogás pode atingir um poder calorífico próximo a 10.000 kcal/m³.

É importante ressaltar que, segundo *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.* (2010), o aumento do tempo de retenção melhora a taxa de degradação, refletindo em uma maior produção de gás. À medida que o tempo de retenção transcorre, uma quantidade cada vez maior de metano vai sendo liberada elevando o poder calorífico inferior da mistura gasosa.

2.1.7 – Expectativa de produção de biogás por biomassa

Na Tabela 2, observa-se a capacidade de produção de biogás, assim como a concentração de metano, por espécie animal. Nota-se que dejetos suínos têm melhor rendimento, cerca de 560m³ de biogás, com percentual de gás metano de 50%, demonstrando que a produção de biogás a partir de dejetos suínos é maior em relação aos dejetos citados. Salienta-se que a produção de CH₄ pode variar dentro das espécies devido a sua alimentação, visto que animais confinados tendem a produzir quantidades maiores de CH₄. (COLATTO e LANGER, 2012).

Biomassa (dejetos)	Produção de biogás (Material seco em m³/ton)	Gás metano
Aves	285	Variável
Bovinos	270	55%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Suínos	560	50%

Tabela 2 - Expectativa de produção de biogás por biomassa (Setembro 2017, adaptado de COLATTO e LANGER, 2012).

De acordo com PEREIRA G, (2011) uma das principais dificuldades na utilização do estrume de suínos é que seu processo de fermentação é mais lento que os demais.

O teor orgânico do resíduo é diminuído com a produção simultânea de energia. As grandes centrais de biogás utilizam tanto o esterco bovino quanto o esterco de suínos, e este último só tende a ser uma fonte promissora devido à abundância deste tipo de resíduo em comparação com os demais. E ainda a digestão de esterco suíno como único substrato é um processo bem-sucedido, devido principalmente ao elevado teor de amoníaco nestes resíduos (BARICHELO, 2015).

A tabela 3 mostra a relação entre a quantidade de esterco de diferentes animais e outros resíduos e o volume de biogás que podem produzir.

Substrato	Quantidade (kg)	Biogás (m ³)
Esterco fresco de bovino	10	0,40
Esterco seco de galinha	01	0,43
Esterco se de suíno	01	0,35
Residuo Vegetal seco	01	0,40
Residuo de frigorífico	01	0,07
Lixo	01	0,05

Tabela 3 – Relação entre a quantidade de biomassa e o volume de biogás produzido.
Adaptado de OLIVER, L et al.

2.1.8 – Benefícios da produção de biogás

AL SEADI *et al* (2008) afirma que a produção e utilização de biogás proporciona benefícios ambientais e socioeconómicos para a sociedade como um todo, bem como para os agricultores envolvidos. A utilização da cadeia de valor interno da produção de biogás aumenta as capacidades económicas locais, salvaguarda o emprego nas zonas rurais e aumenta o poder de compra regional. Melhora os padrões de vida e contribui para o desenvolvimento económico e social.

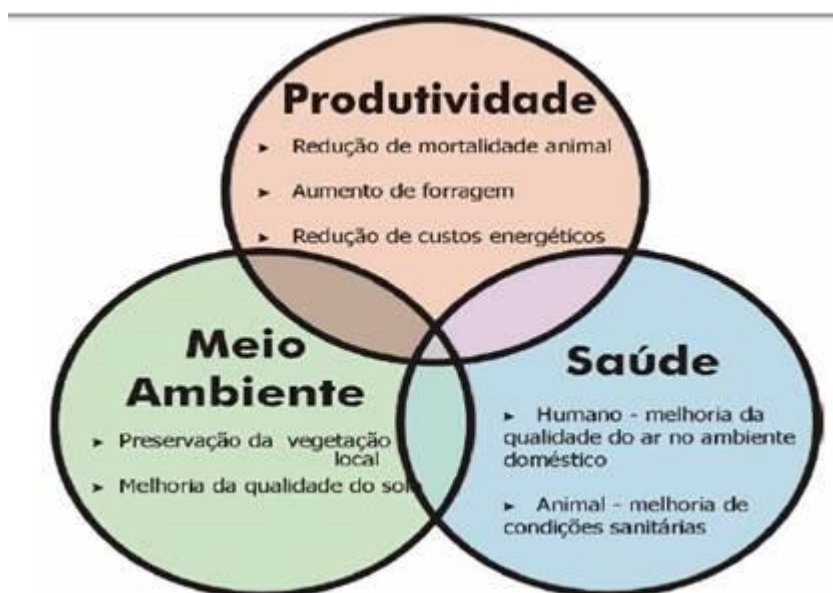


Figura 1 - Benefícios do biodigestor (11 de Setembro 2017, 17:35 Disponível em: <http://www.revistaea.org/pf.php?idartigo=1655>

Fonte de energia renovável

O fornecimento de energia global atual é altamente dependente de fontes fósseis (petróleo bruto, lignite, carvão, gás natural). Estes são restos fossilizados de plantas e animais mortos, que foram expostos ao calor e à pressão na crosta terrestre ao longo de centenas de milhões de anos. Por esta razão, os combustíveis fósseis são recursos não-renováveis em que as reservas estão sendo esgotadas muito mais rápido do que novos estão sendo formados.

Redução das emissões de gases com efeito de estufa e mitigação de Aquecimento global

Utilização de combustíveis fósseis, como lenhite, carvão, petróleo bruto e gás natural converte carbono e armazena por milhões de anos na crosta terrestre, e é libertada como dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Levando a um aumento da concentração atual de CO_2 na atmosfera sendo que o dióxido de carbono é um gás de efeito estufa (GEE). A combustão de biogás também liberta CO_2 , no entanto, a principal diferença, quando comparada aos combustíveis fósseis, é que o carbono no biogás será retirado da atmosfera, pela atividade fotossintética das plantas.

O ciclo do carbono do biogás é assim fechado num curto espaço de tempo (entre um e vários anos). A produção de biogás pelo biodigestor reduz também as emissões de metano (CH_4) e óxido de azoto (N_2O) do armazenamento e utilização de estrume animal não tratado como fertilizante.

Redução da dependência de combustíveis fósseis importados

Os combustíveis fósseis são recursos limitados, concentrados em poucas áreas geográficas do nosso planeta. Isto cria, para os países fora desta área, um estatuto permanente e inseguro de dependência de importação de energia. A maioria dos países europeus está fortemente dependente das importações de energia fóssil de regiões ricas em fontes de combustíveis fósseis, como Rússia e Oriente Médio. O desenvolvimento de sistemas de energias renováveis, como o biodigestor, com base em recursos regionais de biomassa, aumentará a segurança do aprovisionamento energético e reduz a dependência dos combustíveis importados.

Redução de resíduos

Uma das principais vantagens da produção de biogás é a capacidade de transformar resíduos num recurso valioso, usando-o como substrato para biodigestor. Muitos países europeus enfrentam enormes problemas associados à superprodução de resíduos orgânicos da indústria, agricultura e famílias. A produção de biogás é uma excelente maneira de utilizar resíduos para produção de energia, seguida pela reciclagem do substrato digerido como

fertilizante. Podem também contribuir para a redução do volume de resíduos e dos custos de eliminação de resíduos.

Utilização flexível e eficiente do biogás

O biogás é um transportador de energia flexível, adequado para muitas aplicações diferentes. Uma das aplicações mais simples do biogás é o uso direto para cozinhar e iluminar, mas o biogás é atualmente mais utilizado para a produção combinada de calor e eletricidade e é também promissor o mercado da sua utilização como combustível de veículo ou em pilhas de combustível.

Reduzido uso de água

Mesmo quando comparado com outros biocombustíveis, o biogás tem algumas vantagens. Uma delas é que o processo de bio digestão precisa da menor quantidade de água. Este é um aspeto importante tendo em conta a futura escassez de água em muitas regiões do mundo.

O efluente líquido é um excelente fertilizante

Um biodigestor não é apenas um fornecedor de energia. O substrato digerido, geralmente é um valioso fertilizante do solo, rico em azoto, fósforo, potássio e micronutrientes, que podem ser aplicados em solos com o equipamento usual para estrume líquido. Comparado ao estrume animal em bruto, o efluente melhorou a eficiência do fertilizante devido à maior homogeneidade e disponibilidade de nutrientes, melhor relação C / N e reduzidos odores.

Rendimentos adicionais para os agricultores envolvidos

A produção de matéria-prima em combinação com a operação de biodigestores é economicamente atraente para os agricultores e lhes proporciona rendimentos adicionais. Os agricultores recebem também uma nova e importante função social como fornecedores de energia e operadores de tratamento.

Ciclo fechado de nutrientes

Desde a produção de matéria-prima até a aplicação do efluente como fertilizante, a produção de biogás fornece um ciclo fechado de nutrientes e carbono. O metano (CH_4) é utilizado para produção de energia e o dióxido de carbono (CO_2) é libertado para a atmosfera e capturado pela vegetação durante a fotossíntese. Alguns compostos de carbono permanecem no efluente, melhorando o teor de carbono dos solos, quando é aplicado como fertilizante.

A produção de biogás pode ser perfeitamente integrada na agricultura convencional e orgânica, onde o efluente substitui os fertilizantes químicos, produzidos com o consumo de grandes quantidades de energia fóssil.

Flexibilidade para utilizar matérias-primas diferentes

Podem ser utilizados vários tipos de matérias-primas para a produção de biogás: estrume animal e lamas, resíduos de culturas, resíduos orgânicos da produção de leite, indústrias de alimentos e agroindústrias, lodo de águas residuais, fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, resíduos orgânicos das famílias e das empresas de restauração, bem como das culturas energéticas.

O biogás também pode ser coletado, com instalações especiais, de aterros sanitários. Uma das principais vantagens da produção de biogás é a capacidade de utilizar vários tipos de biomassa, todos caracterizados por um teor de humidade superior a 60-70% (por exemplo, lamas de depuração, lamas de animais, lamas de flotação do processamento de alimentos). Várias culturas energéticas (grãos, milho, colza) têm sido amplamente

utilizados como matéria-prima para o biogás, produzido em países como a Áustria ou a Alemanha. Além das culturas energéticas, todos os resíduos agrícolas, culturas danificadas, impróprias para a alimentação, pode ser usado para produzir biogás e fertilizantes.

Redução de odores e moscas

O armazenamento e a aplicação de esterco líquido, esterco animal e muitos resíduos orgânicos são fontes de odores persistentes, desagradáveis e atraem moscas. O biodigestor reduz esses odores em até 80%. O efluente líquido é quase inodoro e os odores de amônia restantes desaparecem logo após a aplicação como fertilizante.

Segurança veterinária

Aplicação do efluente como adubo, em comparação com a aplicação de estrume não lubrificantes, melhora a segurança veterinária. A fim de ser adequado para utilização como adubo, o efluente é submetido a um processo de saneamento controlado. Dependendo do tipo de matéria-prima envolvida, saneamento pode ser assegurado pelo próprio processo de digestão, através do tempo que o substrato passa no interior do biodigestor. Em todos os casos, o objetivo saneamento é inativar patogênicos, sementes de plantas daninhas e outros perigos biológicos e transmissão de doenças através de aplicação de biofertilizante

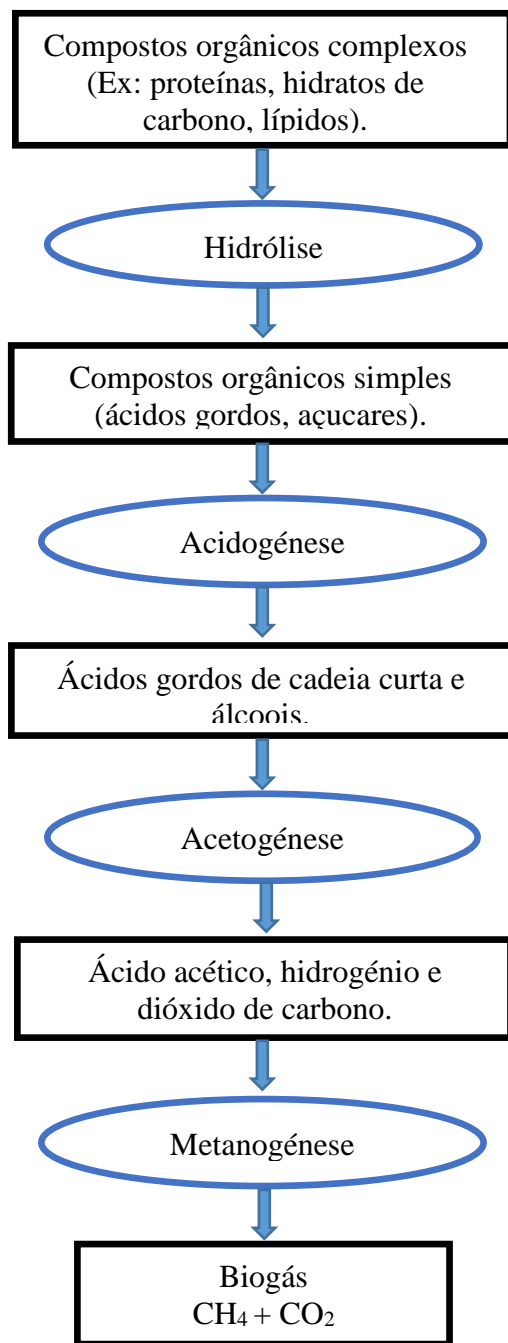
2.2 – Decomposição Anaeróbia

2.2.1 – Definição

Conforme BARICHELO (2015) a digestão anaeróbica é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio e, simultaneamente, uma opção energética, com reconhecida vantagem ambiental.

2.2.2 – O processo da decomposição anaeróbia

O esquema a seguir representa as fases da decomposição anaeróbica:



Fonte: Setembro 2017, Adaptado de Nachwachsende.

Fachagentur *Nachwachsende Rohstoffe (FNR) e.V.* (2010,) afirma que a decomposição anaeróbia de matéria orgânica é feita em 4 fases que devem estar controladas e coordenadas entre si para o sucesso de toda a operação.

Hidrólise – consiste na decomposição dos compostos orgânicos complexos, tais como hidratos de carbono, proteínas e lípidos em substâncias menos complexas e mais solúveis como aminoácidos, açúcares e ácidos gordos. A decomposição é feita por meio de bactérias hidrolíticas.

Acidogénese – as bactérias fermentativas acidogénicas transformam os compostos intermediários formados em ácidos orgânicos, álcoois e cetonas.

Acetogénese – os compostos anteriormente formados são convertidos por bactérias acetogénicas em ácido acético, hidrogénio e dióxido de carbono.

Metanogénese – as bactérias metanogénicas convertem o ácido acético, o hidrogénio e o dióxido de carbono transformando-os em metano (CH_4).

2.2.3 – Fatores que influenciam o processo para uma ótima fermentação

Para que ocorra a fermentação da matéria orgânica, as bactérias precisam de um ambiente favorável ao seu crescimento e desenvolvimento.

Ainda de acordo com *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.* (2010) mantendo as seguintes condições nos seus pontos ideais a produção de biogás será bastante eficiente. Digeríveis são convertidos em biogás.

Temperatura do processo – na degradação biológica cada microrganismo envolvido nos processos metabólicos tem a sua própria faixa de temperatura ideal, no

processo o mais importante é manter uma temperatura constante no interior do biodigestor, visto que a variação brusca dessa faixa ideal pode levar a inibição dos microrganismos. Como as diferentes fases do processo digestivo são realizadas por microrganismos distintos, as temperaturas ótimas às quais estes funcionam são também distintas.

Valor do pH – Os microrganismos envolvidos nas diferentes etapas de decomposição necessitam de diferentes valores de pH para o seu desenvolvimento. No caso das bactérias hidrolíticas e acidogênicas, o pH ideal é de 5,2 a 6,3. Para as bactérias acetogênicas e as metanogênicas dependem de um pH neutro entre 6,5 e 8.

Nutrientes essenciais – para maior eficiência do processo e que se produza o máximo de metano do substrato usado, a disponibilidade dos nutrientes para os microrganismos deve ser mantida em níveis ótimos. Os principais são o azoto, sais orgânicos e principalmente Carbono. É importante que a matéria usada tenha uma boa relação C/N (30/1).

Inibidores – é necessário ter cuidado com os fatores capazes de diminuir a taxa de degradação: sobre carregamento excessivo do biodigestor; nutrientes em excesso podem ser tóxicos; presença de metais pesados e outras substâncias nocivas como o potássio, o oxigênio e amônia.

Agitação – favorece o contato intenso entre as bactérias e o substrato para evitar a formação de camadas e tornar o processo mais eficaz, uma vez que promove o contato de todo o substrato com toda a comunidade bacteriana.

2.3 – Biodigestor

2.3.1– Definição

Para DONGALA, A (2010) o biodigestor é um sistema utilizado para a produção de gás natural, rico em metano (CH_4), através de um processo anaeróbico onde a matéria orgânica é decomposta por bactérias metanogênicas.

Podemos ainda definir o biodigestor como, sendo um equipamento que se compõe, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa (dejetos de animais diluídos, restos de alimentos, materiais amiláceos ou celulolíticos, triturados e diluídos) é fermentada anaerobiamente (sem a presença de ar).

Os dejetos para a digestão são coletados em um tanque de alimentação onde outros substratos solúveis podem ser adicionados e, caso o tanque seja equipado com um triturador, substratos sólidos também podem ser utilizados. A limitação neste caso é a capacidade de bombeamento, cujo limite ocorre com um conteúdo de matéria seca de cerca de 12% (ZANNETE, 2009).

A alimentação do biodigestor pode ser de duas formas, a contínua onde os dejetos são depositados continuamente no biodigestor com intervalos de tempos regulares; ou a batelada quando recebe carga total de biomassa e somente é esvaziado após a total conversão da biomassa em biofertilizante e biogás.

2.3.2 – História dos biodigestores

Segundo NOGUEIRA (1986, *apud* GASPAR, L., 2003, pág.13) embora a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível só tenha surgido na segunda metade do século XIX, o biogás já era conhecido desde há muito tempo, pois a produção de gás combustível a partir de resíduos orgânicos não é um processo novo.

Em 1806, na Inglaterra, Humphrey Davy identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares húmidos. [...]. Ao que parece, apenas em 1857, em Bombaim, Índia, foi construída a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível, para um hospital de hansenianos.

Nessa mesma época, pesquisadores como Fisher e Schrader, na Alemanha e Grayon, na França, entre outros, estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia. Posteriormente, e, 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, sendo o gás produzido utilizado para iluminação pública. Uma

importante contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos residenciais foi feita por Karl Imhoff, na Alemanha, que, por volta de 1920, desenvolveu um tanque biodigestor, o tanque Imhoff, bastante difundido na época.

SGANZERLA (1983, *apud* GASPAR, L., 2003, pág. 13), também aponta para Bombaim como o “berço” do biodigestor.

Diz que, pela literatura existente, o primeiro biodigestor posto em funcionamento regular na Índia foi em Bombaim. Em 1950, Patel instalou, ainda na Índia, o primeiro Biodigestor de sistema contínuo. Na década de 60, Fry, um fazendeiro, desenvolveu pesquisas com biodigestores da África do Sul.

Conforme SEIXAS *et al* (1980, *apud* GASPAR, L., 2003, pág. 13), o primeiro biodigestor a batelada foi “posto em funcionamento regular em Bombaim, em 1900. Durante e depois da Segunda Grande Guerra, alemães e italianos, entre os povos mais atingidos pela devastação da guerra, desenvolveram técnicas para obter biogás de dejetos e restos de culturas”.

E NOGUEIRA (1986, *apud* GASPAR, L., 2003, pág. 13), afirma que a pesquisa e desenvolvimento de biodigestores desenvolveu-se muito na Índia, onde, em 1939, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur, desenvolveu a primeira central de gás de esterco. O sucesso obtido animou os indianos a continuarem as pesquisas, formando o Gobar Gás Institute (1950), comandado por Ram Bux Singh. Tais pesquisas resultaram em grande difusão da metodologia de biodigestores como forma de tratar os dejetos animais, obter biogás e ainda conservar o efeito fertilizante do produto (biofertilizante).

Foi esse trabalho pioneiro, realizado na região de Ajitmal (Norte da Índia), que permitiu a construção de quase meio milhão de unidades de bio digestão no interior daquele país.

A partir da crise energética que aconteceu em 1973, a utilização de biodigestores passou a ser uma opção adotada tanto por países ricos como países de Terceiro Mundo em nenhum deles, contudo, o uso dessa tecnologia alternativa foi ou é tão acentuada como na China e Índia.

O interesse da China pelo uso de biodigestores deveu-se, originalmente, a questões militares. Preocupada com a Guerra Fria, a China temeu que um ataque nuclear impediria toda e qualquer atividade econômica (principalmente industrial). Entretanto, ao espalhar pequenas unidades biodigestores ao longo do país, algumas poderiam escapar ao ataque inimigo.

Há pelo menos meio século, para os chineses, a implantação de biodigestores transformou-se em questão vital, incrustada em lógicas de política internacional. Um país continental, com excesso de população, a China buscou, durante os anos 50 e 60, no auge da Guerra Fria, por uma alternativa de descentralização energética.

2.3.3 – Parâmetros operacionais

“Na prática, a escolha do tamanho do biodigestor ou do tempo de retenção necessário é sempre baseada em um compromisso entre obter o maior rendimento de biogás possível” (AL SEADI *et al*, 2008).

Carga orgânica volumétrica (COV) é um importante parâmetro operacional, que indica a quantidade matéria seca orgânica que pode ser alimentada no biodigestor, por volume e unidade de tempo, de acordo com a equação abaixo:

$$\text{COV} = \mathbf{m} * \mathbf{c} / \mathbf{V_B}$$

m – massa da matéria prima por unidade de tempo [kg/d]

c – concentração de matéria seca [%]

V_B – volume do biodigestor [m³]

Tempo de retenção hidráulica (TRH) outro parâmetro importante para dimensionar o biodigestor. O TRH é o intervalo de tempo médio de quando o substrato é mantido dentro do tanque do biodigestor. O TRH está correlacionado com o volume do digestor e o volume de substrato alimentado por unidade de tempo, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{TRH} = \text{V}_B / \text{V}$$

V_B – volume biodigestor [m^3]

V - volume de substrato por unidade de tempo [m^3/d]

Outro parâmetro referido pelo *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2010)* é a **Quantidade de Matéria Seca** – A consistência dos substratos depende do seu teor de matéria seca, o que justifica a classificação básica da tecnologia de biogás em técnicas de digestão seca e técnicas de digestão húmida. A digestão húmida se realiza com substratos bombeáveis. A fermentação a seco faz uso de substratos empilháveis.

Na biodigestão seca é recomendável a presença de um teor de matéria seca de no mínimo 30% (base em massa) e uma carga orgânica volumétrica de no mínimo 3,5 kg no biodigestor, para a digestão húmida, o substrato líquido pode ter um teor de matéria seca de até 12% (em massa).

2.3.4 – Tipos de biodigestores

Normalmente considera-se 3 tipos de biodigestores, o indiano, o chinês e o canadiano.

De acordo com SGANZERLA (1983, *apud* GASPAR, L., 2003, pág. 18) o **modelo indiano** quando construído, apresenta o formato de um poço – que é o local onde ocorre a digestão da biomassa – coberto por uma tampa cônica, isto é, pela campânula flutuante que controla a pressão do gás metano e permite a regulação da emissão do mesmo.

O biodigestor indiano tem sua cúpula geralmente feita de ferro ou fibra. Nesse tipo de biodigestor, o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Ocupa ainda pouco espaço e a construção, por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços, tais como cintas de concreto.

Ainda o mesmo autor salienta que uma das vantagens do modelo indiano é a sua campânula flutuante, que permite manter a pressão de escape de biogás estável. Outra razão para sua maior difusão está no fato do modelo não exigir a observação de muitos detalhes para sua construção. Por outro lado, há uma desvantagem, razoavelmente significativa, que é o preço da construção da campânula, normalmente moldada em ferro.

O biodigestor modelo indiano caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. (DEGANUTTI *et al*).

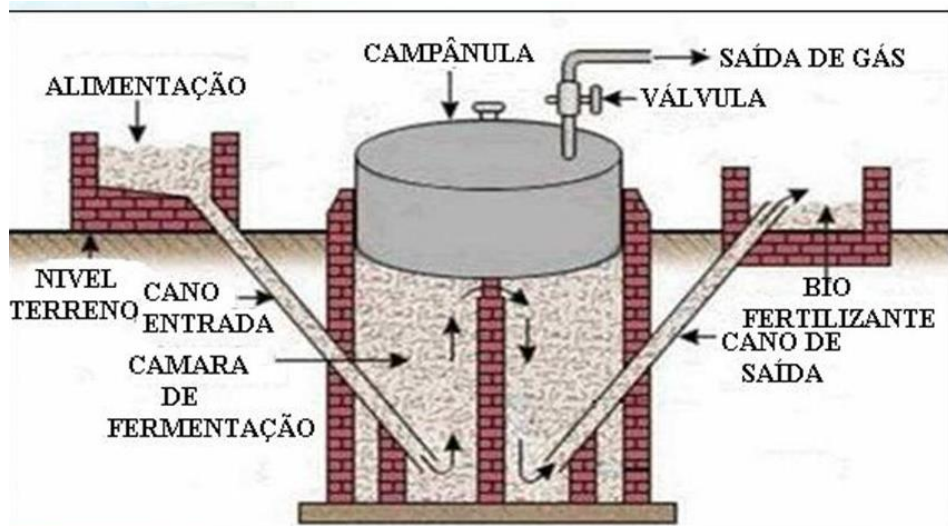


Figura 2 - Esquema de um biodigestor indiano (Setembro 2017, 17:49 disponível em: <http://www.revistaeta.org/pf.php?idartigo=2237>)



Figura 3 - Biodigestor indiano (Setembro 2017, 17:50 Disponível em: <https://www.slideshare.net/JuNNioRe/gerao-de-energia-eltrica-28903279>)

GASPAR, L. (2003) afirma que o **modelo chinês** é mais rústico e completamente construído em alvenaria, ficando quase que totalmente enterrado no solo. Funcionando, normalmente, com maior pressão, a qual varia em função da produção e consumo do biogás; não há possibilidade de contar com uma câmara de regulação, a qual lhe permitiria trabalhar com baixa pressão. Este modelo possui um custo menor em relação aos outros, pois sua cúpula é feita em alvenaria.

As paredes externas e internas precisam receber uma boa camada de impermeabilizante, como forma de impedir infiltrações nos lençóis freáticos; há muita oscilação de pressão dentro da câmara, mas pode ser resolvida com utilização de uma válvula para manter a pressão no nível desejado.

Biodigestor modelo chinês formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultante do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão. (DEGANUTTI1 *et al*).

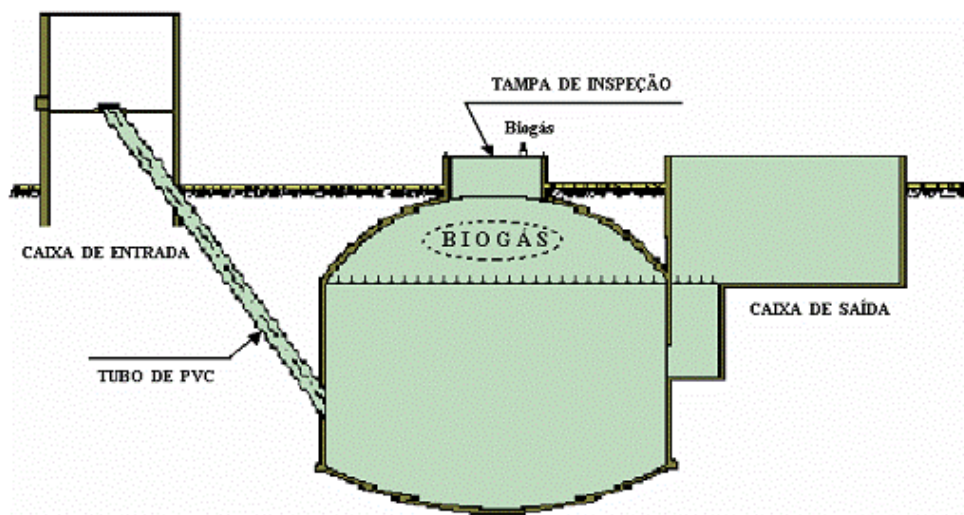


Figura 4 - Esquema de um biodigestor chinês (11 de Setembro 2017, 18:09 Disponível em: <http://www.revistaeea.org/artigo.php?idartigo=1248>

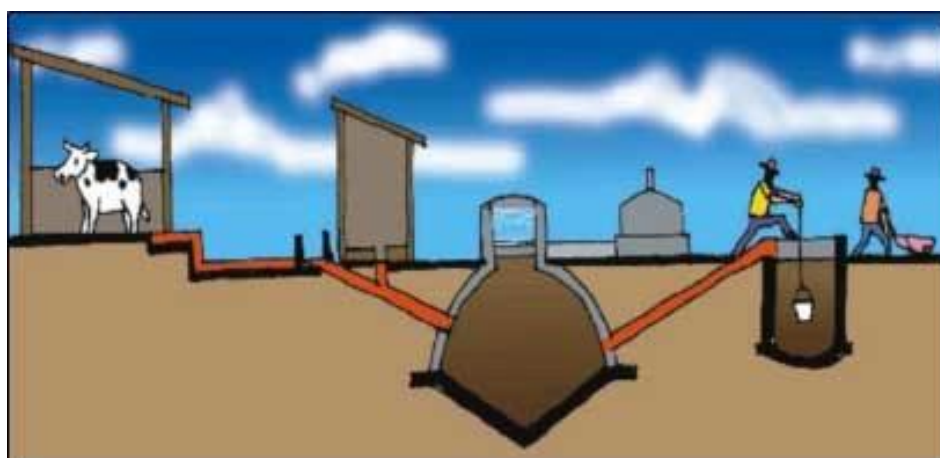


Figura 5 - Biodigestor chinês (11 de Setembro 2017, 18:10 Disponível em: <http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/mais-sobre-biodigestor/>

Segundo EMBRAPA (1995, *apud* BORICHELO, R., 2015, pág. 57), **Biodigestor modelo canadiano** ou modelo lagoa anaeróbica coberta é do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga feita em alvenaria e com largura maior que a profundidade, possuindo, então, uma maior área de exposição ao sol, possibilitando em uma grande produção de biogás. Possui uma câmara de fermentação subterrânea que é formada por um reservatório de armazenamento e uma caixa de saída onde o efluente é liberado. Durante a produção de gás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada.

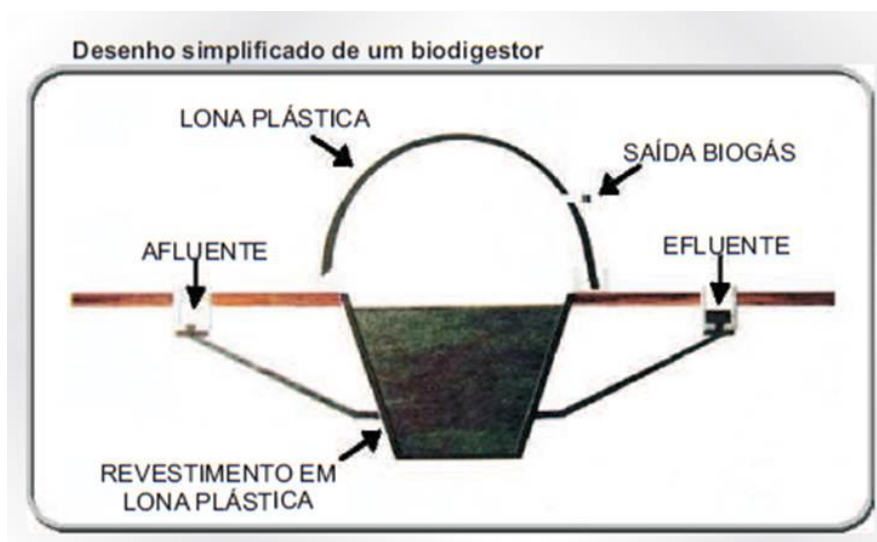


Figura 6 - Esquema de um biodigestor canadiano (11 de Setembro 2017, 18:16 Disponível em: <https://jornalismo3periodo.wordpress.com/>)



Figura 7 - Biodigestor canadiano (11 de Setembro 2017, 18:17 Disponível em: <http://fenobras.blogspot.nl/2012/06/biodigestor-gerador-de-biogas.html>)

Comparação entre os três modelos de biodigestores

Biodigestor	Indiano	Chines	Canadiano
Vantagens	<p>O gasômetro sobre o substrato reduz as perdas durante a produção;</p> <p>Pressão de operação constante;</p> <p>Fácil construção.</p>	<p>Custo reduzido por causa da construção em alvenaria;</p> <p>Modelo de peça única;</p> <p>Ocupa menos espaço.</p>	<p>Maior área exposta ao sol que leva a maior produção;</p> <p>Construção mais simples e fácil;</p> <p>Sem risco de entupir.</p>
Desvantagens	<p>Custo elevado por causa do gasômetro de metal;</p> <p>A distância da propriedade dificulta o transporte;</p> <p>Risco de infiltração no solo.</p>	<p>Risco de vazamento;</p> <p>Não adequado a instalações de grande porte;</p> <p>Variação da pressão do gás.</p>	<p>Alto custo da cúpula;</p> <p>Menor durabilidade;</p> <p>Risco de perfuração do gasômetro.</p>
Materiais	<p>Reservatório em concreto, cúpula em metal;</p> <p>Aconselhável usar tinta inoxidável para pintar a cúpula.</p>	<p>Tudo em alvenaria;</p> <p>Pode-se utilizar concreto, pedra ou tijolos.</p>	<p>Escavado no solo e revestido de concreto;</p> <p>Cúpula feita com manta de pvc.</p>

Tabela 4 - Comparação entre os três modelos de biodigestores Setembro 2017, Adaptado de Deganutti et al, Barichello e Dongala

2.3.5 – Medidas de segurança num biodigestor

OLIVER, A (2008) aponta algumas medidas a seguir para garantir a segurança durante o manuseamento e operação do biodigestor.

Lembre-se das crianças e dos animais. Mantenha o biodigestor e o depósito de biofertilizantes isolados. Uma boa cerca e uma boa limpeza em volta evitam muitos incômodos.

Uma vez por mês, verifique o estado geral das instalações de biogás em inspeção visual. Observe especialmente as juntas e emendas para verificar se está ocorrendo algum vazamento, pincelando-os com água e sabão. Use braçadeiras e conexões adequadas. Instale corretamente os drenos da água.

Cuidado com os ratos. Tubos plásticos do tipo mangueira, em forros e porões, favorecem a presença de roedores.

Cuidados com acidentes e explosões. Evite que o gás se misture com o ar dentro da campânula e na linha de condução de gás.

Providencie ventilação adequada em torno da linha de gás dentro da casa. No entanto, os aparelhos queimadores devem ser localizados protegidos de corrente de ar.

Não fume e não acenda fósforos perto do biodigestor.

2.3.6 – Tipo de alimentação do biodigestor

Conforme *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2010)* a forma de alimentação de um biodigestor determina em grande parte a disponibilidade do substrato fresco para os microrganismos, por isso possui um impacto sobre a geração do biogás.

Alimentação contínua e semi contínua

Na alimentação contínua o substrato é introduzido várias vezes por dia a partir de um tanque de reserva ou de um tanque de carga para o biodigestor. A mesma quantidade de substrato que entra no biodigestor chega ao reservatório de biofertilizantes. Nessa técnica, o biodigestor permanece sempre cheio, sendo esvaziado apenas para reparos.

A técnica de alimentação contínua possui uma grande característica que é uma produção de gás uniforme e uma utilização eficiente do espaço do biodigestor. No entanto, existe o risco de curto-circuito no biodigestor, ou seja, que uma pequena parte do substrato recém-introduzido saia de imediato do biodigestor.

Na alimentação semi contínua uma quantidade de substrato não degradado é introduzida no biodigestor no mínimo uma vez por dia de trabalho. Sendo assim, comprovou-se que a alimentação em pequenas cargas várias vezes ao dia oferece vantagens já que não acarreta riscos.

Alimentação descontínua

Na alimentação descontínua ou em batelada, enche-se totalmente o biodigestor com substrato fresco, fechando-o hermeticamente de seguida. O substrato permanece no biodigestor até o fim do tempo de retenção adequado, sem que se retire ou adiciona mais substrato ao reservatório. Ao fim do tempo de retenção, o biodigestor é esvaziado e enchido novamente com substrato fresco, e uma parte do material decomposto pode continuar dentro do reservatório a fim de inocular as bactérias necessárias para a carga seguinte.

A quantidade de produção de gás no decorrer do processamento varia ao longo do tempo. Após fechar-se o reservatório, a produção de biogás se inicia lentamente. Dependendo do substrato, ela atinge o seu ponto máximo depois de alguns dias e começa a decrescer gradualmente.

Sendo assim, não é possível atingir produção e qualidade do gás constantes com apenas um biodigestor, o que pode ser compensado ao recorrer ao enchimento de vários biodigestores com diferentes intervalos de tempo.

2.3.7 – Custos de construção dos biodigestores

Os custos unitários dos materiais utilizados para a construção dos biodigestores modelo chinês, indiano e canadense foram consultados, por CALZA, L et al (2015), nas tabelas de índices da construção civil do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, para o mês de setembro de 2012 (SINAPI, 2012).

Realizaram a composição de custos para os três modelos de biodigestor tendo em conta diferentes faixas de capacidade, variando em 20; 40; 60; 80; 100 e 120 m³. A escolha da capacidade do biodigestor para cada volume dos dejetos de caprinos, bovinos e suínos foi feita adotando-se o critério de que se deve escolher o biodigestor com capacidade imediatamente acima do calculado quando este não pertencer às faixas de capacidade estipuladas, ou seja, o biodigestor pode ter capacidade superior à calculada, porém não poderá ter capacidade inferior.

Para a composição dos custos de construção dos biodigestores modelos indiano, chinês e canadense, foi considerado o custo com materiais de construção, escavação e mão-de-obra.

Capacidade do biodigestor (m ³)	Custo total por modelo (escudos)		
	Indiano	Chinês	Canadiano
20	150.353,3	120.306,4	62.409,3
40	210.630,4	168.587,7	93.809,9
60	280.366,6	224.151,8	124.227,1
80	340.603,6	272.375,0	154.676,3
100	370.703,1	320.637,3	185.103,7
120	420.891,4	368.319,3	212.613,3

Tabela 5 - Custo de construção e implementação dos três modelos de biodigestores (adaptado de CALZA L, et al).

Como se pode verificar o modelo indiano é o mais custoso, sendo do ponto de vista de construção como no preço dos materiais. Isto por causa do gasómetro em metal que possui um custo elevado e o de menor custo seria o modelo canadiano sendo que necessita de menos materiais para a sua construção.

Estes dados e conclusões são baseados na realidade do Brasil, mas que definitivamente pode fornecer uma ideia da relação de custo destes modelos para qualquer lugar.

2.4 – Purificação do Biogás

Segundo ZANETTE, A (2009) os principais motivos para o tratamento do biogás são, atender as especificações necessárias para cada aplicação (geradores, caldeiras, veículos), aumentar o poder calorífico do gás e padronizar o gás produzido sendo que para muitas aplicações a qualidade do biogás deve ser melhorada.

E os principais parâmetros que podem requerer remoção em um sistema de tratamento são sulfeto de hidrogénio (H_2S), água, CO_2 e compostos halogenados. Quando usado como combustível veicular os requisitos são maiores, todos os contaminantes bem como o dióxido de carbono devem ser removidos para atingir uma qualidade adequada do gás.

Antes da utilização do biogás como combustível veicular o nível de CO_2 deve ser reduzido. Embora seja tecnicamente possível rodar um veículo com biogás sem remover o CO_2 se o motor for especialmente ajustado para isso. A remoção do CO_2 aumenta o poder calorífico do gás, resultando em um aumento da autonomia do veículo para uma determinada capacidade de armazenamento. Além disso, resulta em uma qualidade do gás consistente entre as diferentes centrais de biogás e similar à qualidade do gás natural.

PETERSSON e WELLINGER (2009) afirmam que além do metano e do dióxido de carbono, o biogás pode também conter água, sulfeto de hidrogénio, nitrogénio, oxigénio, amónia, siloxanos e partículas. As concentrações dessas impurezas dependem da composição do substrato a partir do qual o gás foi produzido.

Por isso, para prevenir a corrosão e o desgaste mecânico na utilização do gás em equipamentos, é vantajoso limpar o gás antes da utilização e apresenta os principais métodos para a sua limpeza.

Remoção de água

Ao sair do biodigestor, o biogás está saturado com vapor de água, e esta água pode condensar nas tubulações de gás e causar corrosão. A água pode ser removida por

arrefecimento, compressão, absorção ou adsorção. Através do aumento da pressão ou diminuição da temperatura, a água irá condensar no biogás e pode assim ser removido.

O resfriamento pode ser simplesmente alcançado pelo enterro a linha de gás equipada com uma armadilha de condensador no solo. A água também pode ser removida por adsorção usando, por exemplo, carvão ativado ou peneiras moleculares. Estes materiais são geralmente regenerados por aquecimento ou diminuição na pressão.

Remoção de sulfeto de hidrogénio

O sulfeto de hidrogénio é formado durante o processo microbiológico na degradação de compostos contendo enxofre (sulfatos, péptidos, aminoácidos). As concentrações de sulfeto de hidrogénio no biogás podem ser diminuídas por precipitação no biodigestor ou tratando o gás em um recipiente autónomo ou ainda ao remover dióxido o carbono.

Precipitação

Adição de iões Fe^{2+} ou iões Fe^{3+} ao biodigestor de modo a precipitar o sulfeto de ferro que se torna praticamente insolúvel que é removido de seguida. O método é usado principalmente em biodigestores com alta concentração de enxofre.

Absorção química

Um dos métodos mais antigos de remoção de H_2S envolve lavagem com hidróxido de sódio (NaOH). Por causa do alto requisito técnico para lidar com a solução caustica, a aplicação não é mais aplicada exceto quando volumes de gás muito grandes são tratados para extrair as concentrações de H_2S presentes.

O sulfeto de hidrogénio também pode ser removido usando ferro revestido com óxido ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou Fe_2O_3) como material de suporte. Dentro deste tratamento o biogás é passado pelo material revestido de óxido de ferro. A regeneração é possível por um número de vezes (até que a superfície seja coberta de enxofre), até que o enchimento da torre deve

ser renovado. O processo opera com duas colunas, uma é absorvente, enquanto o outro é reoxidado.

Tratamento biológico

O sulfeto de hidrogénio pode ser oxidado por microrganismos. A degradação requer oxigénio e, portanto, uma pequena quantidade de ar é adicionada para o acontecimento da dessulfuração biológica. A degradação pode ocorrer dentro o biodigestor e pode ser facilitado pela imobilização dos microrganismos que “habitam” naturalmente no biodigestor.

A alternativa é usar um filtro por onde o biogás passa ao sair do biodigestor. No filtro os microrganismos crescem em um material de embalagem. O biogás com ar adicionado ascende um contra fluxo da água contendo nutrientes. A solução contendo enxofre é removido e substituído quando o pH cair abaixo de um certo nível. Ambos os métodos são amplamente aplicados, no entanto eles não são adequados quando o biogás é usado como veículo combustível devido aos vestígios restantes de oxigénio.

Remoção de oxigénio e azoto

O oxigénio não está normalmente presente no biogás desde que deve ser consumido pelos microrganismos aeróbicos facultativos no biodigestor. No entanto, se houver presente o azoto no biodigestor ainda estará presente no gás quando sair. O oxigénio e o azoto podem estar presentes no gás de aterro sanitário se o gás for coletado usando a pressão. Estes gases podem ser removidos por adsorção com carvão ativado, peneiras moleculares ou membranas. Ambos os compostos são difíceis (isto é, caro) de remover, portanto, sua presença deve ser evitada, a menos que o biogás seja usado para geração combinada de calor e energia (CHP) ou caldeiras.

Remoção de amoníaco

O amoníaco é formado durante a degradação das proteínas. As quantidades que estão presentes no gás são dependendo da composição do substrato e do pH no biodigestor. O amoníaco geralmente é separado quando o gás é seco ou quando é atualizado.

Remoção de siloxanos

Os siloxanos são compostos contendo uma ligação de oxigénio e silício. Podem ser encontrados em biogás a partir de tratamento de lamas de esgoto e em gás de aterro sanitário. Quando os siloxanos são queimados, óxido de silício, um pó branco, é formado que pode criar um problema em motores a gás.

Os siloxanos podem ser removidos por arrefecimento do gás, por adsorção em carvão ativado ou gel de sílica, ou por absorção em misturas líquidas de hidratos de carbono. Os siloxanos também podem ser removidos enquanto separa o sulfeto de hidrogénio.

Remoção de partículas

As partículas podem estar presentes em biogás e gás de aterro e pode causar desgaste mecânico em motores a gás e nas turbinas. As partículas presentes no biogás são separadas por filtros mecânicos.

2.5 – Utilização de biogás

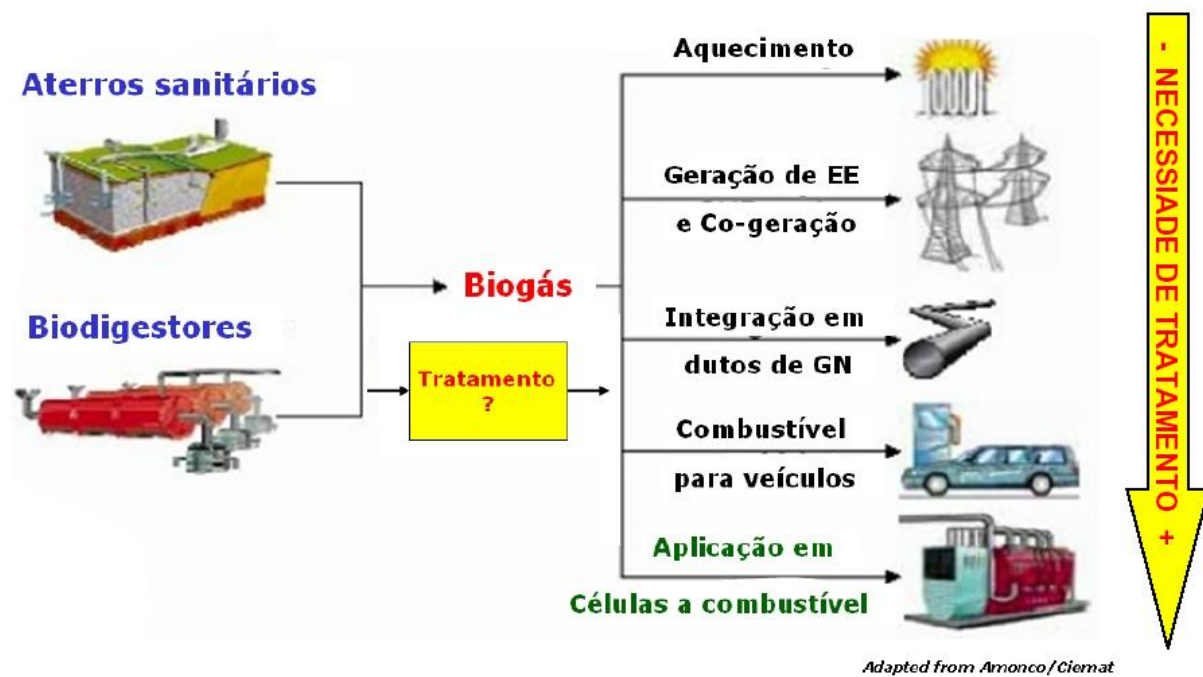


Figura 8 - Formas de utilização do biogás (Setembro 2017, Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAANZcAB/estudo-dos-gases-combustiveis>)

Conforme AL SEADI *et al* (2008) o biogás tem muitas utilizações de energia, dependendo da natureza da fonte de biogás e da demanda local. Geralmente, o biogás pode ser usado para produção de calor por combustão direta, produção de eletricidade por células de combustível ou microturbinas, geração de CHP ou como combustível de veículo.

Combustão direta e uso de calor

A maneira mais simples de utilizar o biogás é a queima direta em caldeiras ou queimadores, amplamente utilizada para o biogás produzido por pequenos biodigestores familiares. O biogás pode ser queimado para produção de calor no local, ou transportados por tubulações de gás para os usuários finais. Para fins de aquecimento, o biogás não precisa

de nenhuma atualização e o nível de contaminação não restringem a utilização do gás tanto quanto no caso de outras aplicações. No entanto, o biogás precisa sofrer condensação e remoção de partículas, compressão, arrefecimento e secagem.

Combinação de calor e energia (CHP)

É uma utilização padrão do biogás em muitos países com um desenvolvimento no setor de biogás, pois é considerado uma utilização muito eficiente do biogás para a produção de energia. Antes da conversão de CHP, o biogás é drenado e seco. A maioria dos motores a gás tem limites máximos para o teor de sulfeto de hidrogénio, hidratos de carbono halogenados e siloxanos no biogás. Uma central de energia baseada em motor CHP tem uma eficiência de até 90% e produz 35% de eletricidade e 65% de calor.

Os tipos mais comuns de centrais de CHP são as térmicas com motores de combustão que estão acoplados a um gerador. Geradores geralmente têm uma rotação constante de 1500 rpm (rotações por minuto) para ser compatível com a frequência da rede.

Motor de injeção piloto

O Motor de Injeção piloto (também chamado de Motor de Gás Natural de Injeção piloto) é baseado no princípio do motor *diesel*. Estes motores são frequentemente usados para tratores e veículos pesados. O biogás é misturado com o ar em combustão. Esta mistura passa através de um sistema de injeção na câmara de combustão onde é inflamado pelo óleo de ignição injetado. Normalmente, até 10% de óleo de ignição é injetado automaticamente e queimado.

Em caso de fornecimento de biogás interrompido, os motores de injeção piloto também podem operar com ignição pura a óleo ou *diesel*, sem qualquer problema. A substituição de biogás por óleo ou *diesel* pode ser necessário durante a fase de inicialização da central de biogás para a produção de calor de processo.

No entanto, se os biocombustíveis forem usados, leva a um maior desgaste do filtro, entupimento do jato e menor viscosidade do óleo vegetal. Outra desvantagem é a liberação de óxido de azoto. Em qualquer caso, é importante seguir as instruções de qualidade do combustível dos fabricantes de motores.

Motores *Sterling*

O motor *Sterling* opera sem combustão interna, com base no princípio de que as mudanças de temperatura de gases resultam em mudanças de volume. Os pistões do motor são movidos pela expansão do gás causada pela injeção de calor de uma fonte de energia externa. O calor necessário pode ser fornecido a partir de várias fontes, como um queimador de gás, que funciona com biogás.

Para usar os motores *Sterling* com o biogás, é necessária alguma adaptação técnica. Devido a combustão externa, também pode ser utilizado o biogás com menor teor de metano.

A eficiência elétrica do motor *Sterling* é de 24-28%, o que é menor do que motores a Gás-Otto. As temperaturas de escape estão entre 250-300 °C. A capacidade dos motores *Sterling* é geralmente abaixo de 50 kW, por isso, devido ao baixo desgaste dos componentes, podem ser esperados baixos custos de manutenção e podem ser usados também em centrais térmicas.

Microturbinas de biogás

Em microturbinas de biogás, o ar é pressionado em uma câmara de combustão em alta pressão e misturado com biogás. A mistura ar-biogás é queimada, causando o aumento da temperatura e a expansão da mistura de gases. Os gases quentes são liberados através de uma turbina, que é conectado ao gerador de eletricidade. A capacidade elétrica das microturbinas é tipicamente abaixo de 200 kW.

O custo das microturbinas de biogás é alto e a pesquisa e o trabalho de desenvolvimento nesta área visam, portanto, a redução de custos para futuros modelos.

Células de combustível

As células de combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem a energia química de uma reação diretamente em energia elétrica. A estrutura física básica (bloco de construção) de uma célula de combustível consiste em uma camada de eletrólito em contato com um ânodo e cátodo porosos em ambos os lados.

Em uma célula de combustível típica, o combustível gasoso (biogás) é alimentado continuamente ao compartimento do ânodo (o eletrodo negativo) e um oxidante (isto é, oxigénio do ar) é alimentado continuamente ao compartimento do cátodo (eletrodo positivo). Uma reação eletroquímica ocorre nos eletrodos, produzindo corrente elétrica.

2.6 – Biofertilizante

ARAÚJO *et al.* (2007, *apud* TIETZ, M *et al.*, 2014, pág. 99) afirma que é o nome dado ao efluente líquido obtido da fermentação anaeróbia da matéria orgânica e água, podendo ser utilizado como fertilizante agrônômico promovendo a incorporação de nutrientes, além de provocar melhorias nas propriedades físicas, biológicas e químicas do solo.

Para AL SEADI *et al* (2008) o biofertilizante é mais homogêneo, em comparação com a pasta em bruto, com uma fração N-P (quantidade de azoto pela quantidade de fosfato) melhorado. Possui um conteúdo declarado de nutrientes necessários as plantas, permitindo uma dosagem e integração precisas em planos de fertilização das culturas. O biofertilizante contém mais azoto inorgânico, mais fácil de ser consumido pelas plantas, que a pasta não tratada.

A eficiência aumentará consideravelmente e perdas de nutrientes por lixiviação e evaporação serão minimizados se o efluente líquido for usado como fertilizante em conformidade com boas práticas agrícolas.

De acordo com *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.* (2010) as propriedades dos biofertilizantes e suas substâncias são diretamente determinadas pela matéria orgânica utilizada na fermentação anaeróbia e pelo processo de fermentação em si.

Ainda salienta que são dignos de menção os conhecidos e apreciados efeitos da digestão de substratos orgânicos sobre as propriedades do biofertilizante:

- Redução da emissão de maus odores por decomposição de compostos orgânicos voláteis;
- Degradação profunda de ácidos orgânicos de cadeia curta, minimizando os riscos de queima de folhas;
- Melhoramento das propriedades de escoamento, com consequente redução de impurezas nas folhas e menor esforço de homogeneização;

- Melhoria do efeito breve do azoto pelo aumento do seu teor permitindo rápida ação;
- Extermínio ou neutralização de ervas daninhas e germes patogênicos.

De acordo com SOUSA J (1995, *apud* OLIVEIRA, R, 2009, pág. 17) o material utilizado para produzir o biogás, pelo processo de fermentação, transforma-se em fertilizante orgânico. Este material é isento de agentes causadores de doença e pragas as plantações, não apresenta odor e por isso não atrai moscas, insetos e roedores.

O biofertilizante apresenta maior concentração de nutrientes do que resíduo original devido a perda significativa de carbono, hidrogénio e oxigénio. Além disso apresenta pH na faixa de 7.0 a 8.0, geralmente em torno de 7.5 levemente alcalino, proporcionando o crescimento de microrganismos úteis à terra que restabelecem a vida do solo, levando ao equilíbrio do pH.

Caso o biofertilizante apresentar pH menor que 7, ácido, deve-se avaliar o processo, uma vez que isso indica ou digestão incompleta ou sobrecarga do biodigestor. Já se o biofertilizante apresentar pH maior que 8, alcalino, deve-se avaliar a operação do biodigestor, uma vez que isso indica tempo de retenção hidráulica muito alto.

No início do processo de bio digestão, o resíduo apresenta relação C/N (quociente da quantidade de carbono pela de azoto) superior a 30, mas depois de estabilizado adequadamente esta relação passa a ser aproximadamente de 10 ou 12, tornando mais segura a aplicação no solo.

2.6.1 – Efeitos da aplicação de biofertilizante no solo

AL SEADI *et al* (2008) ainda afirma que a degradação da matéria orgânica, que ocorre através do processo anaeróbio no biodigestor, inclui a degradação de limites de carbono, ácidos orgânicos, bem como substâncias odoríferas e cáusticas. Por esta razão, quando aplicado no solo, o efluente cria menos estresse e um ambiente mais adequado para o solo, em comparação com a aplicação de pasta em bruto.

À medida que o consumo de oxigênio é reduzido, a tendência é também formam áreas de solo anóxicas, isto é, isentos de oxigênio, zonas contendo apenas azoto. A capacidade de construir o novo solo e a reprodução do húmus através da matéria orgânica fornecida também são maiores, quando em comparação com a fertilização com pasta em bruto.

2.6.2 – Diferenças entre biofertilizantes e fertilizantes químicos

De acordo, com a revista online Explicatorium, o biofertilizante melhora a estrutura do solo e ajuda a reter água; apresenta menos riscos de contaminação do solo, do ambiente e das plantações; acarreta menos custos sendo que pode ser produzido no local e a partir de resíduos orgânicos; evita a possibilidade de fertilizar excessivamente o solo.

O fertilizante químico é prejudicial ao ambiente por causa do seu processo de produção e por ser altamente solúvel em água; possui elevadas concentrações de nutrientes, mais do que o solo necessita; contamina e deteriora o solo por causada da presença de metais pesados aumentando a acidez do solo; possui substâncias que se podem tornar tóxicas e contaminar os lençóis freáticos e afetar os organismos aquáticos; para além disto, as suas consequências são a longo prazo.

III. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo serão abordados os seguintes tópicos: a estrutura/ arquitetura proposta para o dispositivo, a modelação feita através de cálculos e especificações dos materiais utilizados e de suas respectivas funções a desempenharem para o bom funcionamento do biodigestor. Por conseguinte, tem como objetivo mostrar as principais características do protótipo a desenvolver.

Abrange também os passos para a construção do dispositivo, os testes para verificar a fiabilidade dos materiais e atestar o bom funcionamento do biodigestor, visando atingir os resultados previamente estipulados.

3.1 - Materiais

Material	Preço (escudos)	Função
Galão 13L	----	Câmara para fermentação
Válvula	300\$00	Fechar com segurança a entrada
Torneira	397\$00	Saída do biofertilizante
Tubo de pvc 40mm	347\$00	Entrada da biomassa
Silicone	297\$00	Material isolante
Tinta spray preta	583\$00	Isolar o biodigestor da luz
Bico de câmara de ar	----	Saída de biogás para queima
Cola quente	50\$00	Material isolante
Fita isoladora	108\$00	Material isolante

Tabela 6 – Materiais para construção do biodigestor. (Fonte: própria).

Os materiais cujos preços não estão na tabela foram ambos adquiridos através da reciclagem.

Optou-se por utilizar dejetos de vacas como substrato para a produção de biogás, já que possuem logo as bactérias necessárias para a decomposição de biomassa, para além disso, essa matéria-prima possui um tempo de retenção de 35 dias quando aplicada a um biodigestor a grande escala.

3.2 – Métodos

3.2.1 - Dimensionando do biodigestor

Cálculo da produção de biogás

Através da tabela 3 podemos estipular a quantidade de biogás que se pretende produzir utilizando uma analogia matemática que relaciona a quantidade de substrato utilizado, a sua origem (de qual animal) e o volume total de biogás possível de obter.

Pela tabela 3, 10 kg de esterco bovino corresponde a uma produção de 0.4 m³ biogás e pretende-se saber quantos m³ de biogás poderá resultar da fermentação de 5 kg de esterco bovino, que é a quantidade usada no protótipo.

$$\text{Volume de biogás} = \frac{5 \text{ kg de esterco} \times 0.4 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{10 \text{ kg de esterco}}$$

$$\text{Volume de biogás} = 0.2 \text{ m}^3 \text{ biogás}$$

Então, 5 kg de esterco poderão traduzir 0.2 m³ de biogás.

Tendo em conta a opinião de alguns utilizadores de botijas de gás, referido por OLIVER, A *et al* (2008), que consideram que uma botija de gás de 12kg dura 45 dias se usarem o fogão apenas duas horas por dia. De acordo, com esta informação podemos estipular quanto tempo dura a combustão do 0.2 m³ de biogás possível de se obter com este biodigestor.

Uma botija de 12kg de butano corresponde a aproximadamente 33 m³ de gás e usando o fogão duas horas por dia durante 45 dias temos a seguinte relação:

Se multiplicarmos 2 h = 120 minutos (que corresponde à duração da combustão) pelo o número de dias de uso pode-se encontrar a duração da combustão dos 33 m³ de biogás, que será 5400 minutos. Assim sendo, pela fórmula que a seguir se apresenta, pode-se calcular a duração de combustão correspondente aos 0.2 m³ de biogás, valor estimativo relativo à produção de biogás do protótipo construído:

$$\text{Duração da combustão} = \frac{0.2 \text{ m}^3 \text{ biogás} \times 5400 \text{ minutos}}{33 \text{ m}^3 \text{ de gás}}$$

$$\Leftrightarrow \text{Duração da combustão} = 32.7 \text{ minutos}$$

O biogás produzido pelo biodigestor teria uma combustão durante 32.7 minutos.

Cálculo do tempo de retenção dentro do biodigestor

O método para calcular o tempo de retenção hidráulica necessário para obtermos biogás será a divisão entre o volume do biodigestor pelo volume de carga da biomassa.

Tempo de retenção:

$$\text{TRH} = \text{VR} / \text{V}$$

$$\text{Volume do biodigestor} = \text{volume do galão} = 13\text{L}$$

$$\text{Volume de carga da biomassa} = 8\text{L}$$

$$\Leftrightarrow \text{TRH} = 13/8 = 1.63 \text{ dias}$$

3.2.2 - Construção do biodigestor

Para construção do biodigestor foi selecionado uma gama de materiais (já referidos anteriormente) com um custo não muito elevado. Por isso optou-se por utilizar galão de

plástico, tubo de PVC, fita isoladora entre outros materiais que são adequados e todos bem resistentes para o desenvolvimento do processo. Poderíamos utilizar também uma câmara-de-ar, uma bola de Pilates ou um balão volumétrico resistente como gasómetro para o armazenamento do biogás depois de produzido.

Todas as ligações no biodigestor, colocação da torneira, do gasómetro e da entrada de carga orgânica, devem ser devidamente seladas para evitar perda de biomassa, fuga de gás e contaminações quer biológicas (animais), quer por oxigénio. O isolamento foi efetuado com cola quente e silicone de modo a deixar o biodigestor o mais seguro possível e livre de qualquer hipótese de fugas do biogás, que é um gás tóxico e inflamável prevenindo assim os riscos de acidentes.

O exterior da câmara de fermentação será pintado toda em preto para proteger a biomassa e o processo de decomposição da luz solar e evitar o desenvolvimento de cianobactérias que poderiam comprometer o processo anaeróbico já que são organismos fotossintéticos.

Foi colocada uma válvula na entrada de carga orgânica de modo que seja fechado da melhor forma possível depois de colocar a biomassa. A válvula ainda serviu para facilitar a introdução da biomassa através do uso de um galão de água de cinco litros, cheio de biomassa, acoplado a válvula e deste modo impediria a entrada de oxigénio na câmara de fermentação durante a entrada de carga orgânica.



Figura 9 - Desenho dos componentes do biodigestor. Fonte: própria.

No desenho do biodigestor pode-se observar facilmente os seus diversos componentes e ao relacioná-los com a tabela 24, podemos identificar o material de cada um. A função de cada componente foi devidamente referida anteriormente.

O tubo de PVC é de custo baixo e muitas vezes pode ser reciclado de materiais de canalização, é apropriado para líquidos, por isso, foi utilizado como entrada da carga orgânica previamente misturada com água para facilitar a biodigestão pelas bactérias.

A tinta também é de custo baixo e encontrada em qualquer drogaria ou loja de tintas e foi utilizada para pintar o reservatório onde irá ter lugar a biodigestão para prevenir a entrada de raios solares o que pode afetar negativamente o processo, como já referi anteriormente.



Figura 10 - Biodigestor em construção. (Fonte: Própria)

A torneira é utilizada para a saída de biofertilizante e ela também necessita de ser bem isolada. Seria mais apropriado e adequado se fosse uma torneira de PVC mais leve e de maior sustentabilidade pois esta que foi utilizada é de metal o que acarreta um peso a mais levando ao desequilíbrio do biodigestor e também por estar em contacto com líquidos pode ocorrer a corrosão.

Não foi utilizado nenhum material para o armazenamento do biogás optando por ser armazenado mesmo dentro do reservatório onde ocorre a biodigestão. Sendo o biogás um gás com pouca densidade e leve este irá subir e ficar armazenado na parte superior do galão.

Para a saída do gás foi utilizado um pito da câmara-de-ar de bicicleta para permitir uma extração mais segura do gás e evitar fugas de gás visto que, pela estrutura do equipamento o gás só é extraído quando pressionamos o pino.



Figura 11 - Biodigestor construído. (Fonte: própria)

Deste modo foi possível construir um biodigestor caseiro, em pequena escala, capaz de demonstrar como aproveitar vários materiais que geralmente temos a nossa disposição e ainda valorizar os dejetos animais dando-os um fim mais eficiente e sustentável.

IV. CASO DE ESTUDO

4.1 – Caracterização da área de implementação – Madeiral, Calhau

A escolha da área de realização do inquérito teve em consideração a situação social da população (sendo que a abordagem do trabalho é relativa às zonas rurais), a disponibilidade de biomassa necessária para produção de biogás, e a existência de animais adequados para fazer a inoculação de bactérias anaeróbias necessárias para a fermentação do substrato, nomeadamente, os bovinos. Com o objetivo de fomentar ideias que possam ajudar no desenvolvimento local e melhoria das condições de vida das comunidades.

Segundo a Direção Geral do Turismo (S/D) e a Associação Amigos do Calhau (AAC), Calhau é uma pequena aldeia onde se pratica as atividades de pesca, agricultura e criação de gado, fica situado na costa leste da ilha de São Vicente, a uns 15 km da cidade do Mindelo.

Pertence a zona de Ribeira de Calhau que fica situada no extremo da ilha de São Vicente, mesmo em frente da desabitada ilha vizinha de Santa Luzia. O vale que possui várias pequenas propriedades agrícolas de pequenos produtores, desemboca na baía do Calhau, onde existe uma aldeia piscatória com o mesmo nome. A zona de Ribeira de Calhau é composta pelos seguintes lugares: Barro Branco; Calhau; Chã de Madeiral; Madeiral; Km 10; Km 11; Km 12; Km 13; e Km 14.

A localidade de Madeiral, onde foi realizado o inquérito, é uma comunidade onde a população pratica essencialmente as atividades de agricultura e pecuária, o que a torna propícia para a difusão de conhecimento técnico sobre biodigestores, tanto caseiros como os de grande escala nas zonas rurais já que possuem grande potencial de biomassa necessária para o desenvolvimento do processo.

Segundo os moradores desta localidade a fonte de energia para iluminação é a energia elétrica e para cocção de alimentos a maioria utiliza o gás butano, exceto em alguns casos onde a combustão da lenha é ainda utilizada.

4.2 – Levantamento de dados

Foi realizado um questionário a doze moradores da localidade de Madeiral no Calhau com o objetivo de coletar dados e averiguar a existência de problemas relacionados com os dejetos dos animais recolhidos dos estábulos e também questões relacionadas com o gás butano que utilizam.

O grupo selecionado para participar na pesquisa foram pessoas que criam ou se relacionam com pessoas que criam animais, maiores de dezoito anos.

Atualmente, é de extrema importância e pertinência que estas pessoas conheçam as vantagens proporcionados pela degradação dos resíduos das atividades agropecuárias, pelo biodigestor, os produtos finais, o biogás e o biofertilizante e os diversos problemas, não só a nível ambiental, que estes ajudam a solucionar.

Foram definidas apenas duas questões abertas para comporem o questionário que visam obter informação sobre o conhecimento das pessoas a nível das energias renováveis e também ficar a conhecer em qual área atuam. A vantagem deste tipo de questões é de não exercerem influencia ao entrevistado.

As restantes questões foram todas fechadas, permitindo assim a facilidade de serem respondidas e não ocupar muito tempo do entrevistado. Estas questões têm por objetivo conhecer o perfil da pessoa, as suas inquietações no que diz respeito ao despejo e destino final dos dejetos animais, preocupações a nível energético, nomeadamente o gás utilizado no cozimento dos alimentos, o seu preço e acessibilidade. Por último, saber até que ponto conhecem os conceitos biogás e biodigestor e ainda se possuem o interesse de conhece-los de modo a resolver os problemas acima referidos de uma maneira sustentável, saudável e eficiente.

O questionário foi submetido, no decorrer da primeira semana de Novembro, as entrevistas foram realizadas pessoalmente e os dados foram tratados posteriormente e comparados entre si, com o objetivo de clarificar as questões que foram levantadas, sobre o *know-how* dos moradores sobre as Energias Renováveis, se há motivação/interesse/curiosidade em saber mais.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – Resultados do protótipo e da produção de biogás.

Depois do processo de degradação anaeróbia do esterco bovino dá-se a formação do biogás com um elevado índice de metano que por ser de origem dos resíduos orgânicos polui menos do que o gás butano depois da queima.

O metano é um gás tóxico e possível de poluir o ambiente se for libertado na atmosfera na sua forma pura, sem queimar, por isso deve-se evitar a sua fuga depois de produzida.

Em seguida demonstra-se, através de uma reação química de combustão, como o biogás (composto maioritariamente por metano) liberta menor quantidade de dióxido de carbono do que o gás butano, logo polui menos:

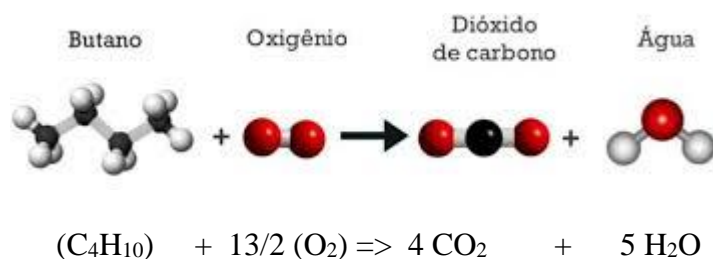


Figura 12 - Reação química da combustão do butano (Setembro de 2017, Disponível em: <https://quimicaempratica.com/2016/04/29/repensando-a-quimica/>

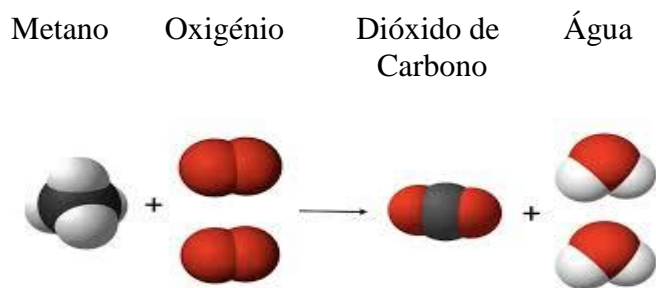


Figura 13 - Reação química da combustão do metano (Setembro de 2017. Disponível em: <https://seborreiacapilar.com.br/2016/08/qual-e-a-diferenca-de-combustao-comlpeta-e-incompleta/>

Logo, através destas reações, podemos concluir que, definitivamente o biogás possui características menos nocivas ao meio ambiente do que o gás butano.

Ao longo da revisão bibliográfica foi possível descrever o processo de degradação anaeróbia, realçando as fases necessárias para a obtenção de biogás desde a biomassa sólida até a formação de metano, as bactérias responsáveis pelo desenvolvimento do processo e suas respectivas funções e ordem de ação; os fatores que se deve ter em conta para que ocorra uma ótima fermentação, aspeto este, crucial para a formação de biogás; e ainda os parâmetros operacionais determinantes para obter o maior rendimento possível de biogás.

Com a produção de biogás a partir dos dejetos animais é possível tratá-los adequadamente, para diminuir as consequências na saúde pública, como por exemplo moscas, maus cheiros e proliferação de doenças, não os deixando a céu aberto e aplicando no solo o biofertilizante resultante do processo de fermentação anaeróbia com melhores benefícios para o solo, propriedades elevadas em relação ao estrume bruto e com a emissão de maus odores reduzida.

A construção de um biodigestor tem um investimento inicial maior que o preço normal do gás butano, como por exemplo no protótipo desenvolvido no presente trabalho teve um custo total de 2082\$00, mas que ao longo do tempo será recuperado com a diminuição da compra de gás butano, sendo que passará a produzir o seu próprio biogás e depois de contruído os custos de operação e manutenção serão mínimos.

Com o biodigestor já pronto, procedeu-se à recolha dos dejetos de vaca fresco em Ribeira de Julião. Esta matéria-prima foi misturada com água para chegar ao volume de biomassa estipulado, 8 litros. Esta mistura foi introduzida com a ajuda de galões de água cinco litros, através de uma válvula, para dentro do biodigestor.

A maior dificuldade foi retirar o oxigénio do galão. Esta etapa, foi um processo delicado e longo. Primeiramente, encheu-se o galão de água ao mesmo tempo que se pressionava o pito na saída de gás para libertação do ar juntamente com oxigénio, depois do galão cheio terminou-se de selar bem as conexões e fechar a válvula e abriu-se a torneira para deixar a água sair totalmente. Só depois de retirar a água foi inserida a biomassa.

O tempo de retenção previamente calculado foi de 1,63 dias, mas só foi verificado a existência de biogás depois de uma semana, de modo a ter certeza que o processo tinha decorrido na sua totalidade. Ao longo da semana foi verificado um ligeiro aumento da temperatura do biodigestor, isto pode ser associado a atividade das bactérias durante a fermentação da biomassa.

Para verificar a presença ou não de biogás no dispositivo foi utilizada a mangueira de uma bomba de ar (por exemplo destinado a encher bolas) conectada à saída de gás do biodigestor que ao ser “acionada” retirava o biogás do dispositivo. Comprovou-se a presença de biogás pela sua queima, como está descrito na imagem seguinte. No entanto, o tempo de duração da sua queima foi inferior ao esperado. As possíveis razões para este fato são apresentadas em seguida.

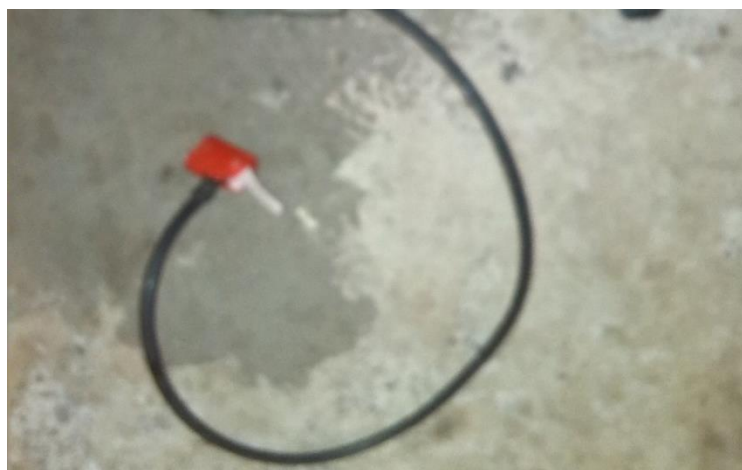


Figura 14 - Bomba de ar usada para extrair o biogás. Fonte: própria



Figura 15 - Demonstração da queima do biogás formado. (Fonte: própria)

Fatores que impediram a obtenção da quantidade de biogás calculada:

- Falta de agitação no biodigestor;
- Possível presença de oxigênio dentro do biodigestor;
- Adaptação da comunidade bacteriana no novo ambiente;
- Saída não controlada do biogás;
- O diâmetro da mangueira usada para extrair o gás;
- Baixa pressão durante a saída do biogás;
- Ausência do gasômetro que não permitiu verificar a quantidade exata do biogás produzido e como tal não foi possível saber se saiu todo o biogás formado;
- Não haver como controlar os diversos parâmetros, como o pH e a temperatura essenciais para a eficiência do processo.

Não foi possível verificar a quantidade de biogás produzida, se esta corresponderia à quantidade previamente calculada, devido à falta de equipamento apropriado para uma correta monitorização. Esta tarefa poderia ter sido realizada através da medição da pressão do gás com um manómetro.

Relativamente, ao biofertilizante não foi possível verificar a sua formação porque a torneira ficou entupida (por causa da espessura da biomassa) e não consegui concertá-la sem danificar ou comprometer o biodigestor e por ser necessária numa demonstração futura optou-se por mantê-la em bom estado.

Através da demonstração foi possível confirmar o bom funcionamento do dispositivo contruído no presente trabalho, sendo que serviu para o desenvolvimento do processo de degradação anaeróbica e houve produção de gás. Não se verificaram fugas de gás nem de líquidos.

Com a construção e funcionamento do biodigestor caseiro foi possível demonstrar a fiabilidade dos diversos materiais utilizados, tanto os reciclados como os comprados, sendo que o galão utilizado permite o desenvolvimento do processo de fermentação, os materiais utilizados como isolantes (cola quente e silicone) selaram bem o recipiente e todas as conexões feitas protegendo de vazamento de gás ou de líquidos e a entrada de oxigénio para além de que todos os demais componentes foram adequados as suas funções e serviram bem.

Logo é viável construir um biodigestor caseiro com os materiais referidos neste trabalho desde que estes sejam utilizados de forma segura e apropriada.

Ao longo do desenvolvimento do protótipo foi demonstrado passo a passo a construção e manuseamento de um biodigestor caseiro, os materiais necessários, as técnicas e processos aplicados bem como os cálculos efetuados para o dimensionamento do protótipo. Mostrando que é possível contruir um biodigestor caseiro, funcional, com as caraterísticas e materiais citados no presente trabalho.

5.2 – Resultados dos questionários aplicados no caso de estudo.

Tamanho e características da amostra

O questionário foi aplicado a uma amostra de doze pessoas sendo constituído, por seis do sexo masculino e seis do sexo feminino. As idades dos participantes variam entre os dezoito e cinquenta e seis anos. A população foi muito receptiva e disposta a colaborar com o questionário, o que facilitou a sua elaboração.

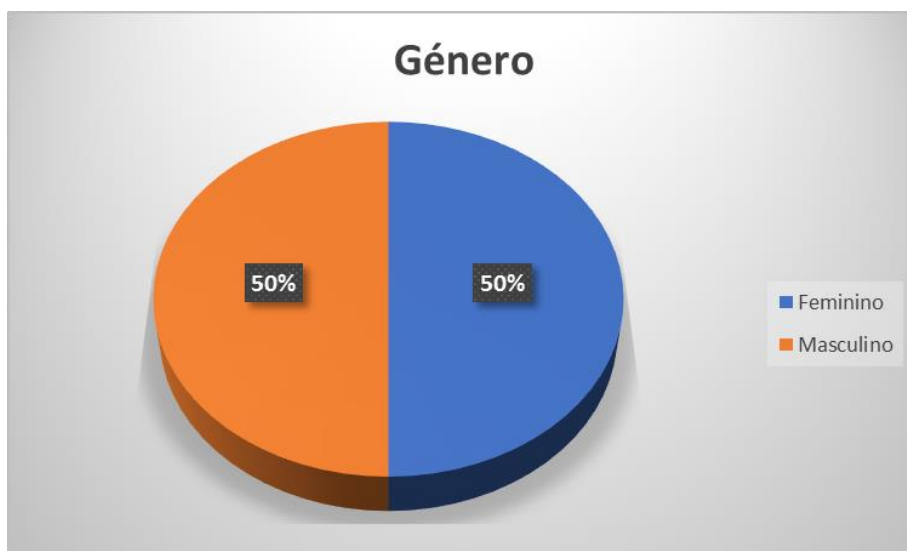
Recolha de informação

Com a aplicação dos questionários foi possível ter uma noção do conhecimento da comunidade em relação às energias renováveis, principalmente o biogás e as inquietações da população em relação ao destino final dos dejetos animais por eles criados e ainda em relação a situação energética da localidade, essencialmente sobre o gás butano utilizado.

Ao realizar o questionário na localidade de Madeiral, Calhau surgiram algumas dificuldades como por exemplo encontrar pessoas alfabetizadas para preencher o questionário, para algumas dessas pessoas foi necessário ler as perguntas de modo que pudessem responder às questões.

Com os dados recolhidos estes foram tratados e analisados com a ferramenta do Microsoft office Exel, onde foi elaborado gráficos e tabelas mostrando as percentagens das repostas para cada questão.

Género



Escolheu-se uma amostra dividida na mesma percentagem do sexo feminino e masculino de modo a mostrar os conhecimentos de forma igualitária entre os sexos dentro da amostra.

Idade

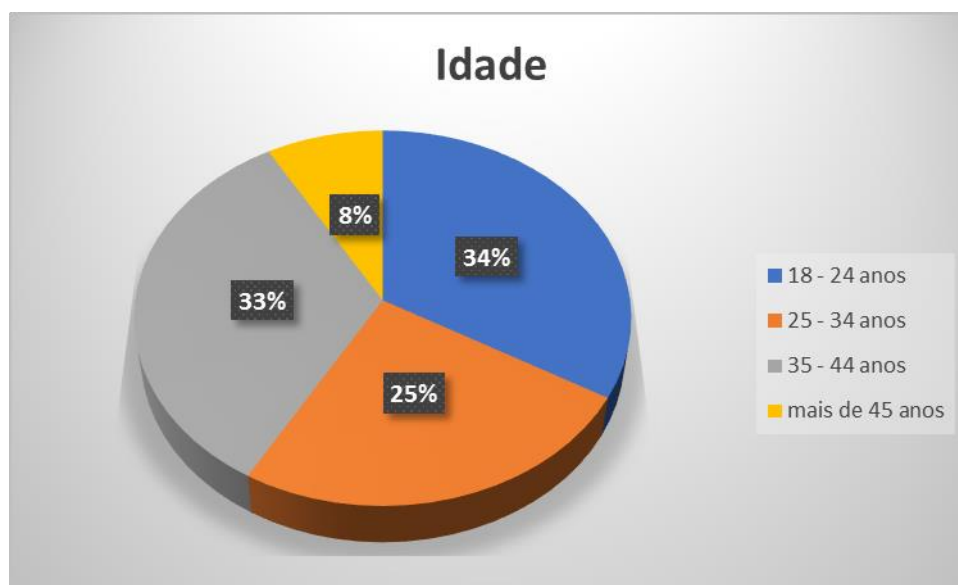


Gráfico 2 - Divisão da faixa etária. (Fonte: própria)

Para o preenchimento do inquérito não foi estipulado nenhuma percentagem para a categoria da faixa etária, teve este cenário por causa das pessoas dispostas a submeterem ao questionário.

Profissão:

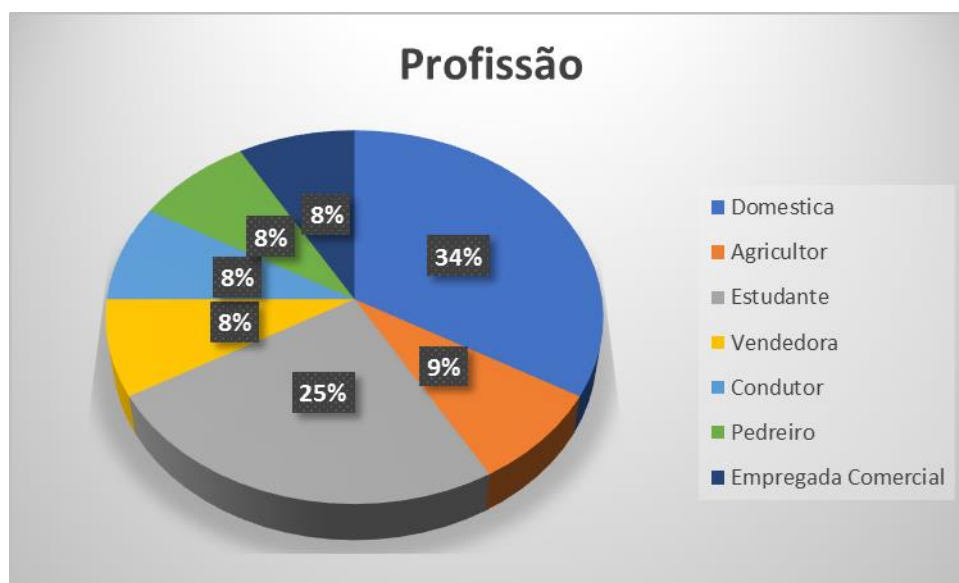


Gráfico 3 - As principais profissões na comunidade. (Fonte: Própria)

A maioria das pessoas nessa comunidade vivem das atividades de agricultura e pecuária, sendo por isso as profissões dominantes são agricultores e domésticas pois enquanto o homem toma conta das plantações e dos animais as mulheres cuidam da casa e dos filhos, portanto a maioria deles são analfabetos e outros apenas sabem assinar o nome. As pessoas mais jovens que preencheram o questionário estudam com exceção de uma mulher nos seus vinte e poucos anos que já cuida da casa e crianças.

Conhecimento prévio sobre Energias Renováveis:



Gráfico 4: *Conhecimento das energias Renováveis. (Fonte: própria)*

A maioria da população está familiarizado com o conceito de Energias Renováveis, sendo pelos noticiários através dos meios de comunicação social ou em conversas com pessoas que entendam do assunto e mencionaram que a comunidade possui um indivíduo formado na área.

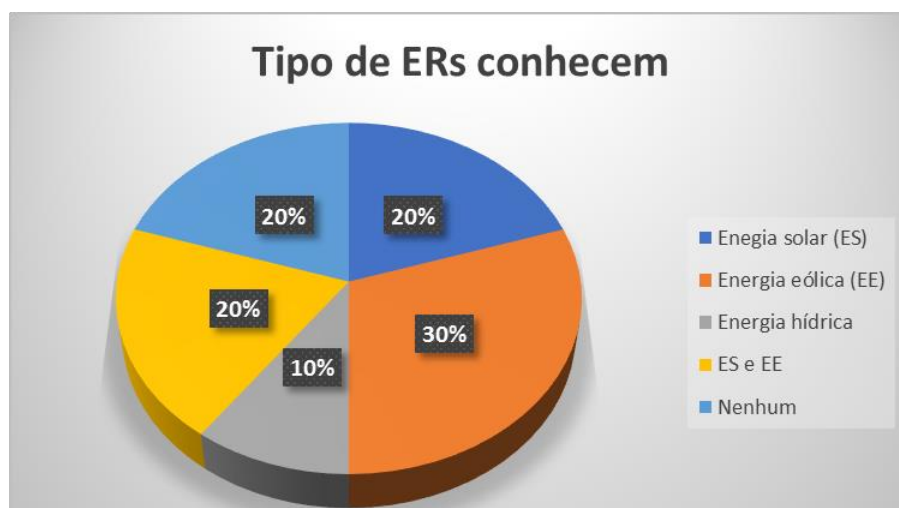


Gráfico 5: *As energias Renováveis mais conhecidos pela amostra. (Fonte: própria).*

Das pessoas que já ouviram falar das Energias Renováveis estão mais familiarizados com a energia eólica seguida da energia solar e uma pequena parte já ouviu o conceito, mas não conhece nenhum tipo destas energias. Como se pode ver ninguém mencionou a energia da biomassa nem tinham conhecimento desta energia.

Das pessoas da amostra ninguém nunca teve contato “direto” com as energias renováveis, nunca tiveram formação ou participou de alguma palestra que abordasse este tema.

Conhecimento de biogás e biodigestor:



Gráfico 6 - Conhecimento do conceito biogás. (Fonte: própria)



Gráfico 7 - *Conhecimento do conceito biodigestor. (Fonte: própria)*

Ninguém presente na amostra ouviu falar ou teve contato com nenhum dos conceitos de biogás e biodigestores, sendo que possuem poucos conhecimentos acerca do tema das energias renováveis e os diferentes tipos existentes.

Deste modo surge a oportunidade de lhes apresentar este conceito, primeiramente através do inquérito alimentando assim a curiosidade e interesse para o assunto e depois num trabalho futuro juntamente com a associação da comunidade aplicação prática do projeto e ensino da construção e operação de biodigestores.

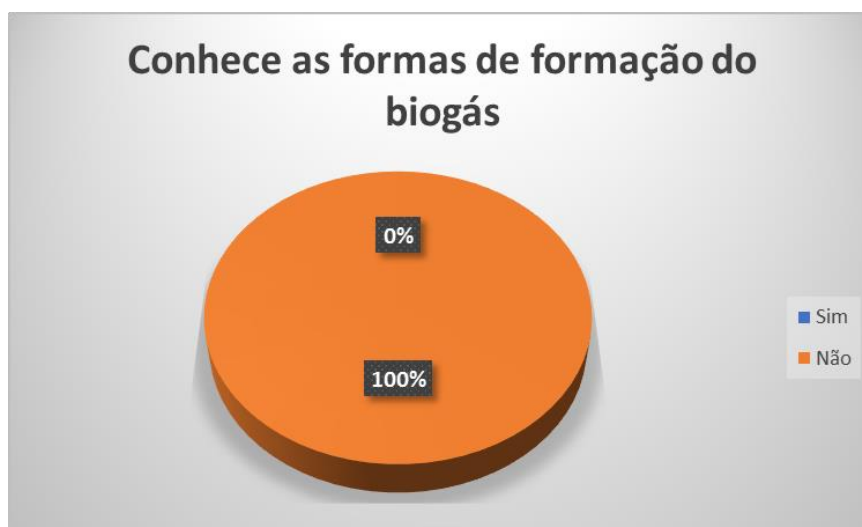


Gráfico 8 – *Formas de formação de biogás. (Fonte: própria).*

Sendo que a maioria da população de Madeiral não tinha conhecimento do conceito de biogás e biodigestores logo não sabiam a origem do biogás nem que seria possível produzir gás para cocção de alimentos e outros fins através da degradação anaeróbia dos dejetos originados pelos animais.

Criação de animais:



Gráfico 9 - Criação de animais. (Fonte: própria).

Tendo em conta que uma das principais atividades praticadas nesta comunidade é a pecuária a maioria da população cria ou ajudam a cuidar de diferentes tipos de animais.

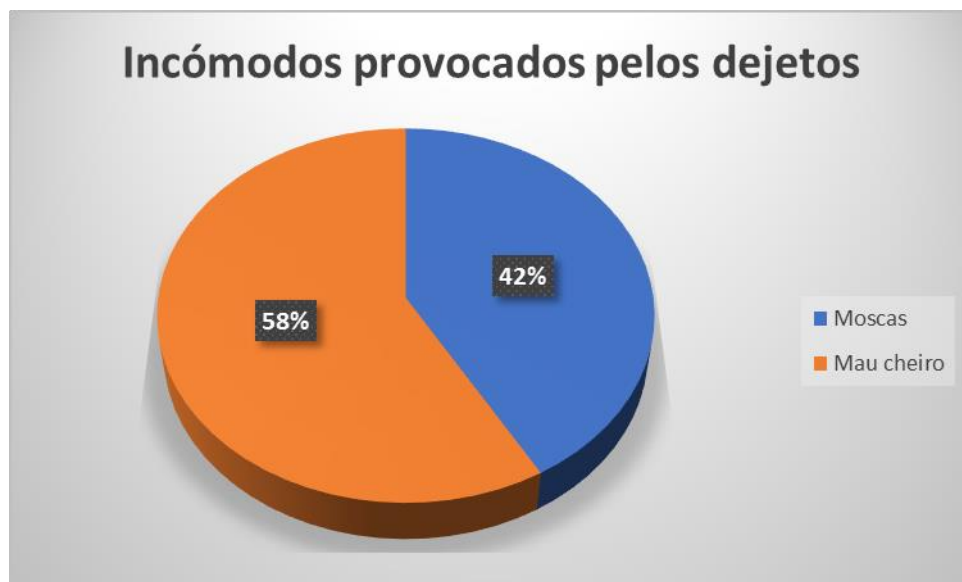


Gráfico 10 - Os incômodos provocados pelos dejetos de animais. (Fonte: própria).

Também disseram que estes dejetos sem tratamento quando usados nas plantações ou mesmo despejados na natureza longe das habitações causam incômodos como por exemplo moscas e maus cheiros.

Aproveitamento dos resíduos da pecuária



Gráfico 11 - Formas de utilizar os dejetos. (Fonte: própria).

Os dejetos originados por esses animais são utilizados essencialmente como adubo para as diversas plantações cultivadas na área. Isto mostra que já valorizam de alguma forma esses dejetos, facilitando assim a possibilidade de aprender outra forma de aproveitá-los.

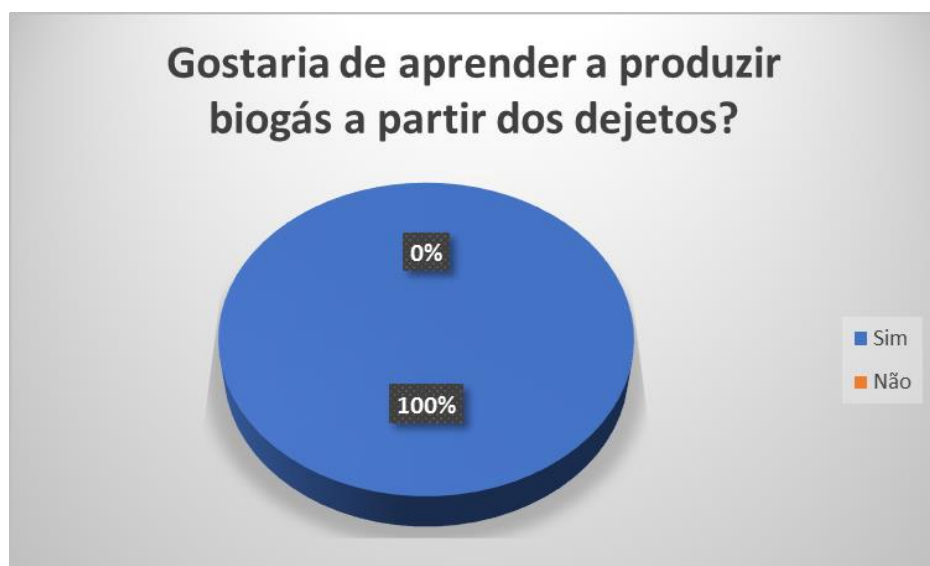


Gráfico 12 - Disponibilidade para aprender a produzir biogás. (Fonte: própria)

Levando estes aspetos em consideração, ficaram bem impressionados com essa informação e também muitos interessados, se for possível num futuro próximo, a aprenderem os requisitos necessários para este processo, como pô-los em prática e ainda outros meios de conseguir o biogás.

Dependência energética relativa ao butano

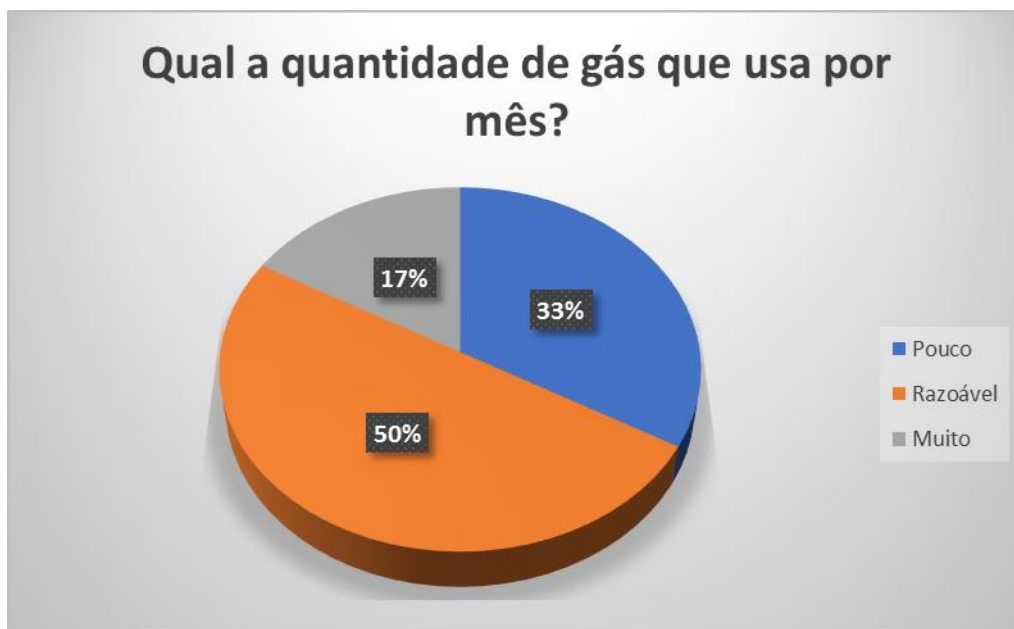


Gráfico 13 - Utilização mensal de gás butano. (Fonte: própria)

Metade das pessoas da nossa amostra considera o gasto de gás butano em um mês como razoável.



Gráfico 14 - Avaliação do preço do gás butano. (Fonte: própria)

A maioria dos inquiridos consideram o preço atual do gás butano como acessível, ou seja, está á um peço justos, os restantes pelo contrário consideram como caro, mas como era de se esperar as respostas para esta questão iriam variar muito de acordo com cada pessoa, suas condições e consciência.

Energia fóssil versus energia Renovável



Gráfico 15 - *Forma de utilizar o biogás. (Fonte: própria).*

Sendo que a comunidade não conhece nem é familiarizada com o conceito de biogás, ninguém sabia para que é destinado.



Gráfico 16 - *Disponibilidade para o uso do biogás. (Fonte: própria).*

A amostra da população teve uma opinião quase unanime em relação ao uso de um gás com aproximadamente mesmo poder de queima que o butano, mas que seria mais barato e fácil de obter (visto que produziriam o seu próprio) e ainda que apresenta menos consequências nocivas ao meio ambiente. Exceto de uma senhora mais relutante ao uso de “coisas novas” que preferia continuar com aquele que já é familiarizada.

A informação recolhida incentivou a ideia e possibilidade de realizar trabalhos futuros para o ensino do conceito de biogás e biodigestor nas comunidades principalmente pelo motivo de não ser muito conhecida e divulgada.

VI. CONCLUSÃO

O presente trabalho mostra a construção de um biodigestor caseiro para produção de biogás e biofertilizante, facilitando e dando uma maior autonomia às pessoas que vivem em zonas rurais.

Este dispositivo é uma nova alternativa para essas pessoas, possibilitando a obtenção de gás de forma prática e económica, para a cocção de alimentos, utilizando os resíduos orgânicos e dejetos de animais produzidos na própria propriedade, diminuindo os custos para compra de gás e também com o deslocamento para obtê-lo. Outra vantagem é a redução da poluição ambiental, por dar um destino aos resíduos orgânicos poluentes, resultantes da produção agropecuária.

Ao longo do trabalho surgiram alguns obstáculos que foram ultrapassados gradualmente com a ajuda dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, do apoio e experiência de diversas pessoas, e para a realização do trabalho a metodologia utilizada constou de uma ampla pesquisa bibliográfica das principais características dos tipos de biodigestores também do processo de obtenção do biogás.

Através da elaboração desse trabalho constatou-se que as energias renováveis, principalmente o biogás, não estão muito divulgadas na nossa sociedade muito menos as vantagens, tanto a nível económico como a nível ambiental. Pode-se inferir que este projeto, tendo uma forte componente didática, no sentido em que ensina a construir um biodigestor caseiro, poderá ser de grande valia. Ajudando principalmente a desenvolver as comunidades do meio rural, uma vez que partilha informações técnicas e práticas do uso de biodigestores e os seus produtos, tanto a obtenção de biogás, como a produção de biofertilizantes.

Em conclusão, espera-se que este projeto seja uma contribuição para a melhorar a qualidade de vida no ambiente rural, proporcionando um maior conforto e acesso a melhores condições, com baixo custo além de contribuir para a preservação do meio ambiente.

6.1 - Sugestões de trabalhos futuros

Futuramente gostaria que fosse possível poder explorar esta temática de uma forma mais sistemática e laboratorial, de modo a poder averiguar a constituição do biogás, poder variar a matéria-prima, instalar mecanismos de automação no biodigestor para controlar o processo e torná-lo mais eficaz.

A aplicação do questionário desenvolveu em mim a vontade de realizar uma palestra aos habitantes do local do caso de estudo para demonstrar o funcionamento do meu protótipo com o objetivo de suscitar curiosidade sobre as inúmeras possibilidades energéticas que nos rodeiam. Surgiu assim um novo objetivo, fornecer orientações e todas as informações necessárias as associações/cooperativas dessas localidades para elaborar projetos de implantação de biodigestores para que possam aproveitar os resíduos orgânicos e diminuir a poluição causada por estes.

Após a realização deste projeto, surgiu a vontade de aprofundar mais os meus conhecimentos na área em questão, para que possa contribuir de forma mais confiante na disseminação de conhecimento que possa auxiliar ao desenvolvimento da minha sociedade. A ideia do aproveitamento das fontes de energias renováveis, nomeadamente o biogás através da construção de biodigestor caseiro ou ainda biodigestores a grande escala nas localidades rurais é um cenário que gostaria de desenvolver. Incentivando assim a tornar a nossa sociedade mais informada, saudável e sustentável para as gerações futuras.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL SEADI, T *et al* (2008): ***Biogas handbook***, University of Southern Denmark Esbjerg, Esbjerg Dinamarca (Tradução do autor).

BARICHELO, R (2015). ***Conceção de condomínios de agro energia: análise e proposta de metodologia para aplicação em áreas de concentração da suinocultura***. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CALZA, L *et al* (2015). ***Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás***. Revista Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.35, n.6, p.990-997, nov./dez. 2015.

COLATTO, L e LANGER, M. (2012). ***Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia***. *UNOESC & Ciência*. ACET, Joaçaba.

COSTA D.F (2006): ***Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgotos***: Tese de mestrado em Energia - Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARVALHO, L (2010). ***Avaliação do potencial de produção de biogás a partir de biomassa proveniente de culturas dedicadas e de lamas de ETARI***. Tese de Mestrado em Engenharia de Sistemas Bio energéticos. Universidade técnica de Lisboa, Lisboa.

DEGANUTTI, R *et al* (S/D). ***Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada***. FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo.

DONGALA, A (2010). ***Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos: um Estudo de Caso da Região de Icolo e Bengo – Angola***. Tese de mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GASPAR, R (2003). *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de toledo-PR*. Tese de mestrado em Engenharia de Produção. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE e.V (2010): *Guia Prático do Biogás Geração e Utilização*.

FERNANDES, A (2016). *Variáveis microbiológicas e físico-químicas em biodigestores anaeróbios escala piloto alimentados com dejetos de bovinos leiteiros e suínos*. Tese de mestrado em Ciência e Tecnologia do leite e Derivados. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

OLIVER, A *et al* (2008). *Manual de treinamento em bio digestão*. Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID).

OLIVEIRA, R (2009). *Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em batedouro e as possibilidades no mercado de carbono*. Monografia, Licenciatura em Engenharia Elétrica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA G, (2011). *Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais*. Revista de administração e ciências contábeis do IDEAU. Vol.6 - n.12. Uruguai.

PETERSSON, A & WELLINGER, A (2009). *Biogas upgrading technologies – developments and innovations*. IEA Bioenergy, Suécia. (tradução do autor).

PRATI, L (2010). *Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores*. Monografia, licenciatura em Energia Elétrica. Universidade Federal do Paraná, Panamá.

SILVA, J (2016). *Avaliação Técnica e Econômica de um Biodigestor de Fluxo Tubular: estudo de caso o modelo implantado na ETEC “Orlando Quagliato” em Santa Cruz do Rio Pardo, SP*. Tese de mestrado em Agronomia - Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu.

TIETZ, C (2014). *Produção de biogás a partir de dejetos suínos*. Acta Iguazu, Cascavel, v.3, n.3, p. 92-102. Universidade Estadual do Oeste do Paraná

ZANETTE, A (2009). *Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil*. Tese de mestrado em Planejamento Energético. Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Web grafia

<http://reservasantaluzia.com/pt/index.php/calhau-sao-vicente>: acedido em 18/10/17, 10:36

<http://www.explicatorium.com/sociedade/trabalho-fertilizantes>: acedido em 20/11/17, 11:30

Anexos

Questionário

Este questionário é realizado no âmbito do trabalho de conclusão de curso em engenharia em Energias Renováveis com o objetivo de saber até onde a população das zonas rurais conhecem o biogás e seus meios de formação.

O autor do trabalho agradece a sua colaboração.

Secção A

1. Idade
☐ 18 – 24 anos
☐ 25 – 34 anos
☐ 35 – 44 anos
☐ Mais de 45 anos
2. Sexo
☐ Feminino ☐ Masculino
3. Profissão _____

Secção B

4. Já ouviu falar em Energias Renováveis?
☐ Sim ☐ Não
5. Se sim, qual tipo conheces?

6. Já participaste em alguma formação ou palestra sobre Energias Renováveis?
☐ Sim ☐ Não

Secção C

7. Sabes o que é biogás?
☐ Sim ☐ Não
8. Sabes o que é um biodigestor?
☐ Sim ☐ Não
9. Crias algum tipo de animal?
☐ Sim ☐ Não
10. Se sim, Qual é o destino final dos dejetos de animais que crias?
☐ Estrume para plantações

- ☐ Despejados a natureza
☐ Outro (indique qual) _____
11. Os dejetos de animais sem tratamento causam incómodos?
☐ Sim ☐ Não
 12. Se sim, indique quais:
☐ Moscas
☐ Mau cheiro
☐ Outro (indique qual) _____
 13. Sabias que se pode produzir biogás (gás de origem biológico formado a partir da degradação de resíduos na ausência de oxigénio) através destes dejetos?
☐ Sim ☐ Não
 14. Se Não, gostaria de aprender como?
☐ Sim ☐ Não
 15. Se sim, sabias que este biogás pode ser utilizado para cozimento dos alimentos, em substituição do gás butano normalmente utilizado?
☐ Sim ☐ Não
 16. Qual a quantidade de gás butano que utiliza normalmente em um mês?
☐ Pouco
☐ Razoável
☐ Muito
 17. Se conhecesse outro gás menos nocivo ao ambiente e com menos custo seria capaz de usa-lo?
☐ Sim ☐ Não
 18. Achas que o gás butano normalmente utilizado tem um preço acessível?
☐ Sim ☐ Não